

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

В. А. Наумов

ГИДРОЛОГИЯ

Утверждено редакционно-издательским советом ФГБОУ ВО «КГТУ»
в качестве учебно-методического пособия по выполнению курсовой
работы для студентов бакалавриата по направлению подготовки
20.03.02 Природообустройство и водопользование

Калининград
Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ»
2024

УДК 556.16(083.74)

Рецензент:

кандидат биологических наук, доцент кафедры техносферной безопасности и природообустройства ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» Н. Р. Ахмедова

Наумов, В. А.

Гидрология: учеб.-метод. пособие по выполнению курсовой работы для студентов бакалавриата по напр. подгот. 20.03.02 Природообустройство и водопользование / В. А. Наумов. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2025. – 39 с.

Учебно-методическое пособие является руководством по выполнению курсовой работы по учебной дисциплине «Гидрология» со студентами вузов, обучающимися в бакалавриате по направлению подготовки 20.03.02 Природообустройство и водопользование. Курсовая работа предназначена для закрепления теоретического материала и приобретения навыков выполнения типовых расчетов и использования основных нормативно-технических документов, регламентирующих работы в области гидрологии.

Табл. 3, рис. 28, список лит. – 19 наименований

Учебно-методическое пособие рассмотрено и одобрено к изданию в качестве методического материала методической комиссией Института рыболовства и аквакультуры 28.08.2024 г., протокол № 06

УДК 556.16(083.74)

© Федеральное государственное
бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Калининградский государственный
технический университет», 2024 г.
© Наумов В. А., 2024 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
УСЛОВИЯ ВЫБОРА ТЕМЫ И ПОРЯДОК РАЗРАБОТКИ КУРСОВОЙ РАБОТЫ.....	5
1 ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ВОДОСБОРНОГО БАСЕЙНА РЕКИ	7
1.1 Карта водосборного бассейна реки. гидрографическая схема	7
1.2 Гидрографические характеристики.....	8
1.3 Климат (температура, атмосферные осадки) бассейна	9
2 РЯД СРЕДНИХ ГОДОВЫХ РАСХОДОВ ВОДЫ.....	13
2.1 График ряда средних годовых расходов. Интегрально-разностная кривая.....	13
2.2 Проверка линейного тренда, достаточности длины и однородности ряда	15
2.3 Эмпирическая и теоретическая (Пирсона 3-го типа) обеспеченность СГР	17
2.4 Расчет значений СГР заданной обеспеченности. Характеристики стока.....	18
3 ВНУТРИГODOVОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СТОКА РЕКИ	21
3.1 Оцифровка гидрографов в годы разной водности. Характеристики за год	21
3.2 Минимальные расходы воды (1-, 5-, 10 и 30-суточные)	23
3.3 Весеннее половодье (начало и конец, слой стока). Паводки.....	25
3.4 Частота и продолжительность стояния расходов воды.....	27
3.5 Коэффициент естественной зарегулированности стока реки (КЕЗС)	30
СПИСОК ВОПРОСОВ К ЗАЩИТЕ КУРСОВОЙ РАБОТЫ.....	33
СПИСОК ИСТОЧНИКОВ	34
ПРИЛОЖЕНИЕ А	36
ПРИЛОЖЕНИЕ Б	37
ПРИЛОЖЕНИЕ В	38

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Гидрология» входит в основную профессиональную образовательную программу бакалавриата по направлению подготовки 20.03.02 Природообустройство и водопользование.

Цель дисциплины – формирование систематизированных знаний, умений и навыков, предусмотренных ООП, в области гидрологии. Задачи дисциплины: расширение профессионального кругозора, изучение отечественных и зарубежных достижений науки и техники по профилю деятельности, знакомство с системой нормативных документов и специальной литературой по природообустройству и водопользованию, формирование опыта анализа и публичного представления материалов инженерных изысканий.

В результате изучения дисциплины студент должен

знать: нормативно-методические документы, регламентирующие сферу деятельности; общие закономерности процессов формирования поверхностного стока, водного баланса Земли, суши и речного бассейна; мероприятия по предупреждению опасных гидрологических процессов (явлений), а также защиту от их последствий;

уметь: определять основные характеристики реки и ее бассейна, рассчитывать показатели гидрологического режима водотоков; оценивать гидрологические условия на рабочем объекте; осуществлять оценку гидрологических условий на рабочем объекте;

владеть: навыками по оценке состояния профильного объекта профессиональной деятельности; приемами и способами обработки материалов гидрологической информации.

Промежуточная аттестация по дисциплине «Гидрология» предусматривает защиту курсовой работы. *Задание для выполнения курсовой работы* обучающиеся получают в начале семестра. Целью выполнения курсовой работы является формирование компетенций, связанных с профессиональной деятельностью, систематизация знаний, умений, навыков, полученных при изучении теоретического курса.

Выполненная курсовая работа представляется для проверки на кафедре техносферной безопасности и природообустройства не позднее чем за неделю до даты проведения промежуточной аттестации по дисциплине. После проверки курсовая работа допускается к защите или отправляется на доработку. Если курсовая работа отправляется на доработку, следует устранить все замечания и повторно сдать его на проверку. Если курсовая работа допускается к защите, студент должен быть готовым дать все необходимые пояснения по расчетам, графикам, содержанию работы, ответить на контрольные вопросы. По результатам защиты выставляется оценка. Критерии выставления оценки представлены в таблице А.1.

УСЛОВИЯ ВЫБОРА ТЕМЫ И ПОРЯДОК РАЗРАБОТКИ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Студенты могут выполнять курсовую работу по типовой теме: «Анализ стока реки _____ в створе _____». Река и створ согласуются с руководителем работы. Предпочтение отдается рекам Калининградской области. Студенты могут предложить свою тему, связанную с гидрологическими проблемами рек региона, в частности, как продолжение своей научной работы.

Исходными данными являются:

1) Многолетний ряд средних годовых расходов воды реки. Выдает преподаватель по варианту в виде файла формата txt.

2) Ежедневные расходы воды реки за два года: маловодный (или очень маловодный), многоводный (очень многоводный). Необходимо выбрать из гидрологических ежегодников для соответствующей реки.

Текстовый материал (пояснительная записка) оформляется в соответствии с требованиями ГОСТа [2].

Графический материал: Карта бассейна с нанесенными условными обозначениями формата А3. Выполняется в соответствии с требованиями нормативных документов

По структуре курсовая работа должна включать следующие элементы:

Титульный лист

Задание на выполнение курсовой работы

1 Природно-климатические условия водосборного бассейна реки

1.1 Карта водосборного бассейна реки. Гидрографическая схема

1.2 Гидрографические характеристики

1.3 Климат (температура, атмосферные осадки) бассейна

2 Ряд средних годовых расходов воды

2.1 График ряда средних годовых расходов. Интегрально-разностная кривая

2.2 Проверка линейного тренда, достаточности длины и однородности ряда

2.3 Эмпирическая и теоретическая (Пирсона 3-го типа) обеспеченность средних годовых расходов

2.4 Расчет значений СГР заданной обеспеченности. Характеристики стока

3 Внутригодовое распределение стока реки

3.1 Оцифровка гидрографов в годы разной водности. Характеристики за год

3.2 Минимальные расходы воды (1-, 5-, 10- и 30-суточные)

- 3.3 Весеннее половодье (начало и конец, слой стока). Паводки
- 3.4 Частота и продолжительность стояния расходов воды
- 3.5 Коэффициент естественной зарегулированности стока реки

Список использованных источников

Приложение А. Чертеж водосборного бассейна реки

Другие приложения включаются при необходимости использовать в курсовой работе обширный заимствованный материал. Приложения нумеруются заглавными буквами кириллицы, например, Приложение Б.

1 ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ВОДОСБОРНОГО БАССЕЙНА РЕКИ

1.1 Карта водосборного бассейна реки. гидрографическая схема

За основу можно принять карту водосборного бассейна реки из атласа [10], либо его интернет-аналога [18]. Затем с помощью одного из графических редакторов вносятся необходимые изменения и дополнения (рисунок 1.1): условные обозначения, площади болот и лесов. Обязательно должно быть показано положение гидрологического поста (ГП), по данным которого будут выполняться расчеты, прилагается масштабная линейка.

Дается краткое описание карты с указанием истока и устья реки. Например, на рисунке 1.1 представлена карта водосборного бассейна реки Прохладной. Бассейн расположен в Багратионовском, Гурьевском и Правдинском районах Калининградской области (КО); небольшая часть находится в Польше. Исток реки – болото Целау, севернее посёлка Грушевка, отметка уровня $Z_{и} = 35,4$ мБС (метры Балтийской системы). Устье – Калининградский залив Балтийского моря у посёлка Ушаково, отметка уровня $Z_{у} = 0$.

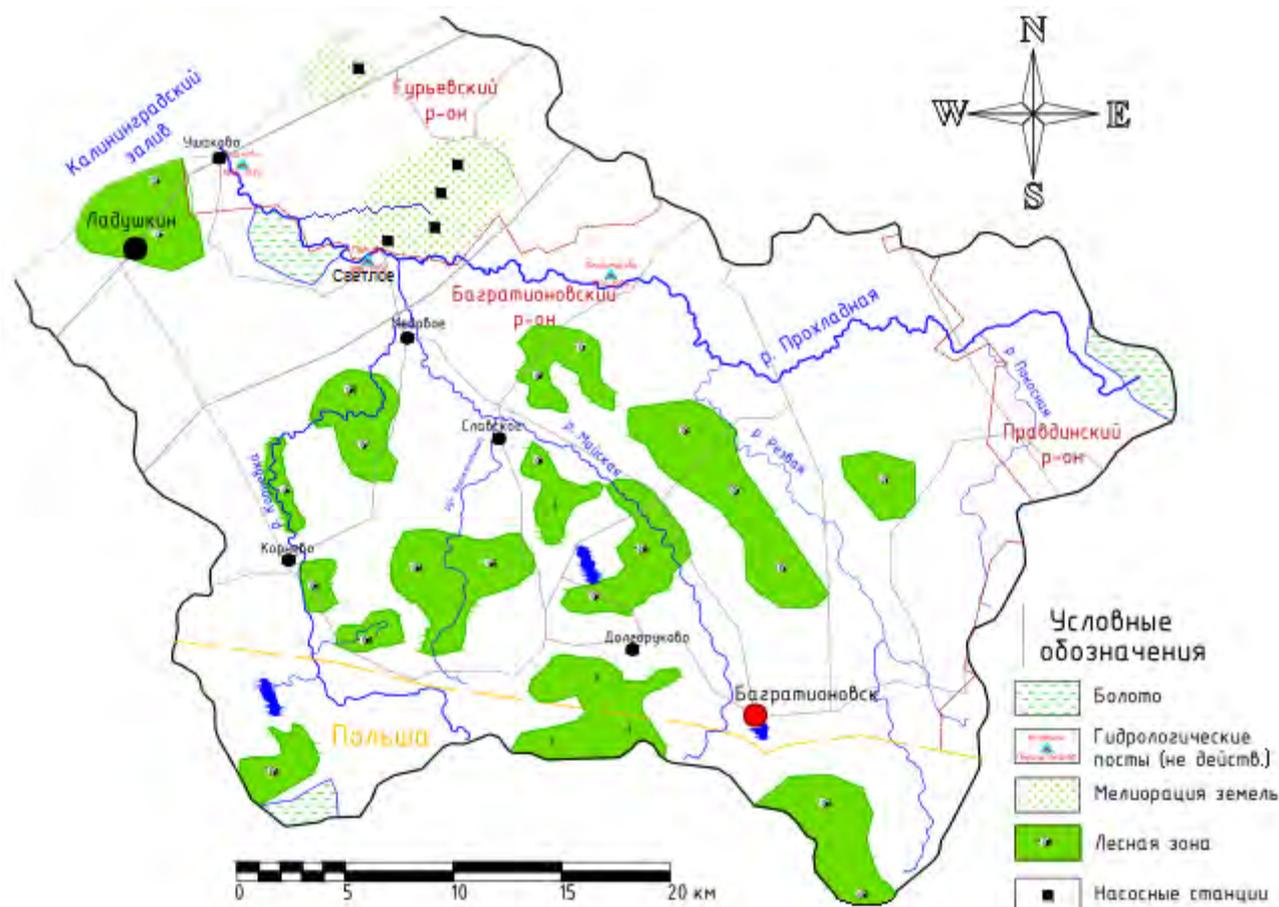


Рисунок 1.1 – Карта бассейна реки Прохладной (автор А. А. Лагуточкин)

Гидрографическая схема строится по карте водосборного бассейна. Горизонтальная линия соответствует длине главной реки в принятом масштабе. От нее под углом 45° откладываются притоки в виде отрезков соответствующей длины. Указываются названия притоков и их длина, расстояния от устья главной реки до их впадения в нее. Пример такой схемы для реки Прохладной показан на рисунке 1.2.

На гидрографической схеме могут быть показаны наиболее важные притоки второго порядка; чертятся под углом 45° к отрезку, изображающему приток первого порядка. Если в справочниках отсутствуют данные о длине притоков, они определяются по карте с учетом их извилистости.

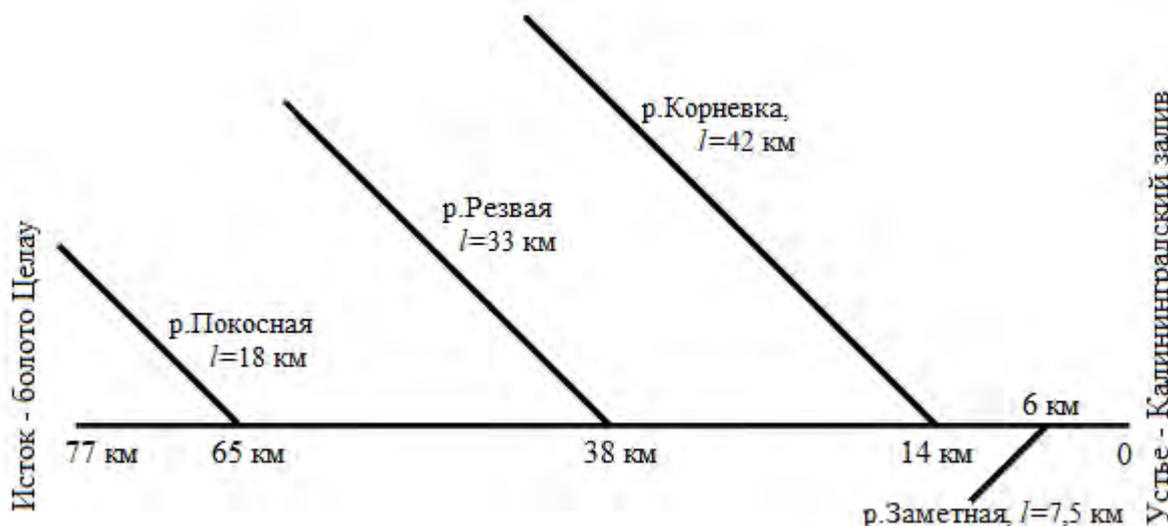


Рисунок 1.2 – Гидрографическая схема бассейна реки Прохладной

1.2 Гидрографические характеристики

Гидрографические характеристики реки и водосборного бассейна включают морфометрические и морфологические характеристики. Они дают представление о характере, форме, размерах, протяженности водного объекта и некоторых физико-географических особенностях водосбора. Приведем гидрографические характеристики реки Прохладной.

Основные морфометрические характеристики реки Прохладной

Длина водотока – протяженность основного русла водотока от принятого истока до устья: $L = 77$ км.

Гидрографическая длина водотока – наибольшая протяженность основного русла системы водотоков, измеряемая от истока притока, составляющего с основным водотоком наибольшую длину: $L_{\Gamma} = L_1 + L_2$; $L_1 = 65$ км (протяженность р. Прохладной от 0 до устья р. Покосной), $L_2 = 18$ км (длина р. Покосной); $L_{\Gamma} = 83$ км.

Полное падение водотока $\Delta Z = Z_{\text{И}} - Z_{\text{У}} = 35,4$ мБС.

Средний уклон водотока $J = \Delta Z/L = 35,4/77 = 0,448$ м/км (обозначается ‰, промилле) небольшой, что характерно для равнинных рек.

Извилистость водотока – отношение длины водотока к длине прямой, соединяющей ее исток и устье: $77/45 = 1,71$.

Основные морфометрические характеристики водосборного бассейна Прохладной

Площадь водосборного бассейна $A = 1170$ км².

Густота речной сети – отношение суммы длины всех поверхностных водотоков ΣL_i к площади бассейна A . Определяем по Приложению Б (рисунок Б.1): $(0,96-1,07) \approx 1,0$ км/км².

Длина водосборного бассейна – расстояние от устья реки до самой удаленной точки водосбора (определяется по карте бассейна) $L_B = 49$ км.

Средняя ширина водосборного бассейна $B_C = A/L_B = 1170/45,5 = 25,7$ км.

Морфологические характеристики водосборного бассейна характеризуют особенности водосбора. Так, лесистость бассейна A_L определяется как отношение площади части бассейна, занимаемой лесами, к площади всего бассейна (в процентах). Аналогичным образом определяются озерность, заболоченность, распаханность и некоторые другие характеристики бассейна (урбанизированность, закарстованность, мерзлотность). Определяются по справочникам, при отсутствии в справочниках указанных сведений – рассчитываются по карте.

1.3 Климат (температура, атмосферные осадки) бассейна

Кратко описывается климат региона, в котором находится бассейн реки, в нашем случае – Калининградской области. Необходимо использовать несколько источников [9, 13, 14].

Следует найти среднюю температуру и сумму атмосферных осадков водосборного бассейна. Для этого используются результаты наблюдений метеорологических станций (МС). В Калининградской области в настоящее время действуют 7 МС: Калининград, Балтийск, Советск, Черняховск, Железнодорожный, Пионерский, Мамоново. Находим ближайшие к бассейну реки Прохладной МС: Калининград, Мамоново, Балтийск. Но в городе Балтийске особый микроклимат, обусловленный влиянием моря, поэтому остаются 2 МС: Калининград и Мамоново.

Так как число МС мало, применяем метод среднего взвешенного. На карту местности наносят точки расположения МС и соединяют их прямыми линиями. Затем через середины линий проводятся перпендикуляры и определяются площади многоугольников ω_i , тяготеющие к i -й МС. Средняя для водосборной территории сумма атмосферных осадков вычисляется по формуле:

$$R_s = (\omega_1 R_1 + \omega_2 R_2 + \dots + \omega_n R_n) / (\omega_1 + \omega_2 + \dots + \omega_n),$$

где R_i – сумма осадков i -й МС.

В рассматриваемом случае двух МС задача упрощается. Нужно найти лишь площади частей, на которые срединный перпендикуляр делит бассейн, можно в процентах от площади бассейна. Оценка по рисунку 1.3 дает: площадь, тяготеющая к МС Мамоново, составляет 29 %, к МС Калининград – 71 %.

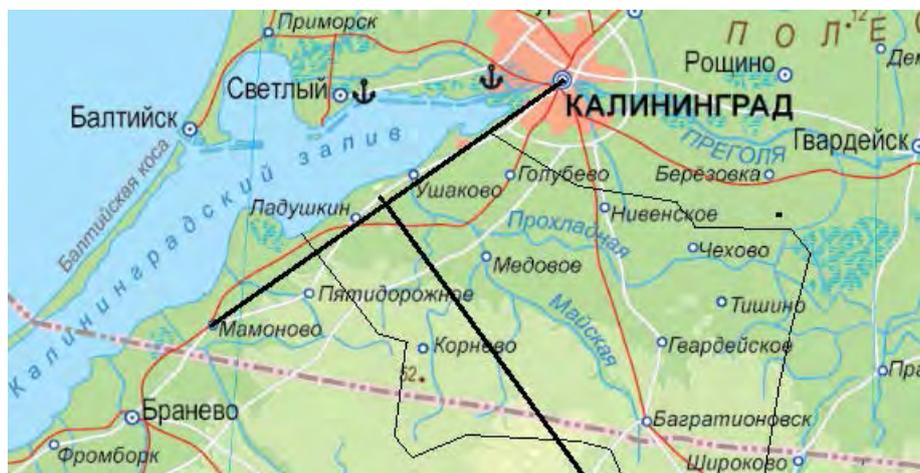


Рисунок 1.3 – Определение площади частей бассейна, тяготеющих к МС

Росгидромет для установления норм температур и сумм осадков использует данные за предыдущее тридцатилетие, закончившееся годом, кратным 10. С 2021 года это период 1991-2020 годы (для МС Калининград указанные нормы приведены в таблице 1.1 и на рисунках 1.4, 1.5). С 2011 по 2020 год использовались средние данные за период 1981-2010 годы. На рисунках 1.6, 1.7 показаны диаграммы средних месячных температур и сумм осадков МС Мамоново. Данные взяты из интернет-ресурсов [14–16].

Таблица 1.1 – Средние месячные температуры и суммы осадков по метеостанции Калининград (норма, 1991-2020)

Месяц	Средняя температура, °С	Сумма осадков, мм
Январь	-1,2	67,5
Февраль	-0,6	53,7
Март	2,4	48,7
Апрель	7,9	38,2
Май	7,9	52,4
Июнь	12,7	69,5
Июль	16,1	90,5
Август	18,1	91,3
Сентябрь	13,5	72,7
Октябрь	8,4	86,0
Ноябрь	3,9	75,8
Декабрь	0,4	69,4
За год	8,3	815,7

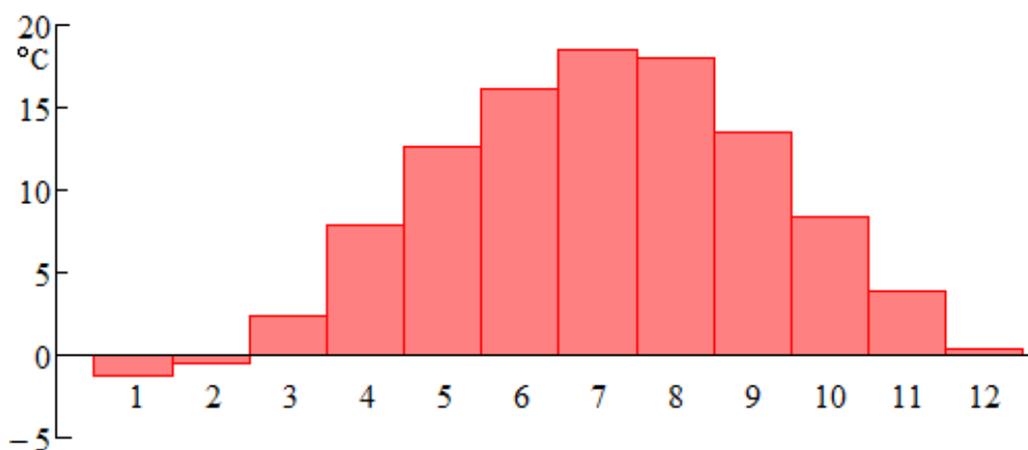


Рисунок 1.4 – Диаграмма средних месячных температур в Калининграде (1991-2020)

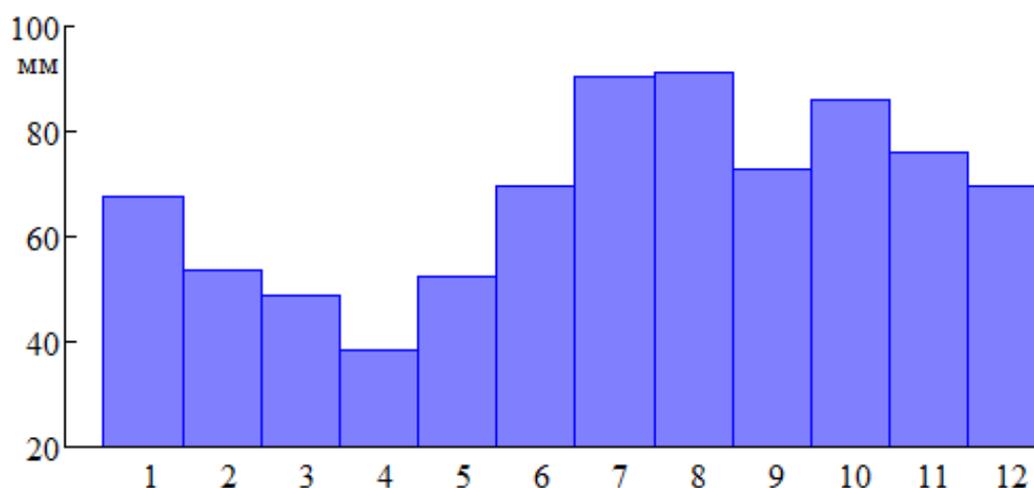


Рисунок 1.5 – Диаграмма средних сумм осадков за месяц в Калининграде (1991-2020)

По рисункам 1.4, 1.6 средняя годовая сумма атмосферных осадков за 30 указанных лет в Калининграде 815,7 мм; в Мамоново – 689,2 мм.

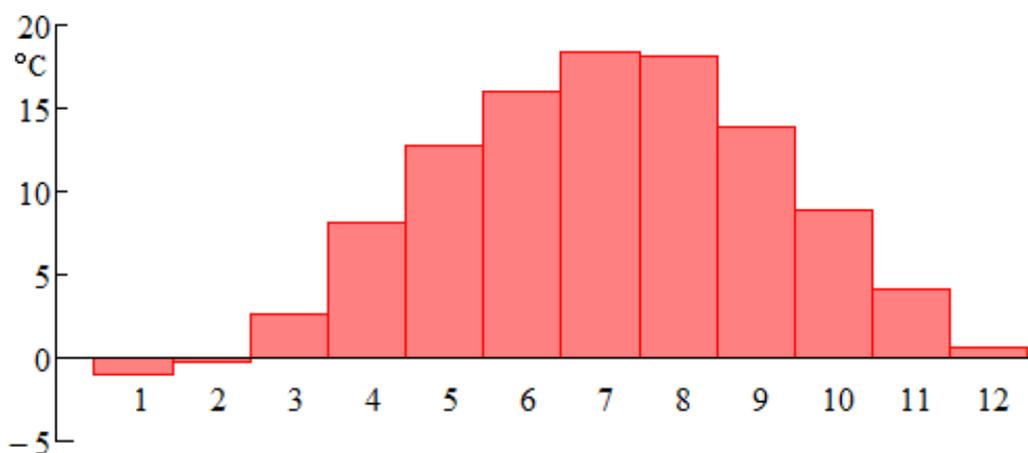


Рисунок 1.6 – Диаграмма средних месячных температур в Мамоново (1991-2020)

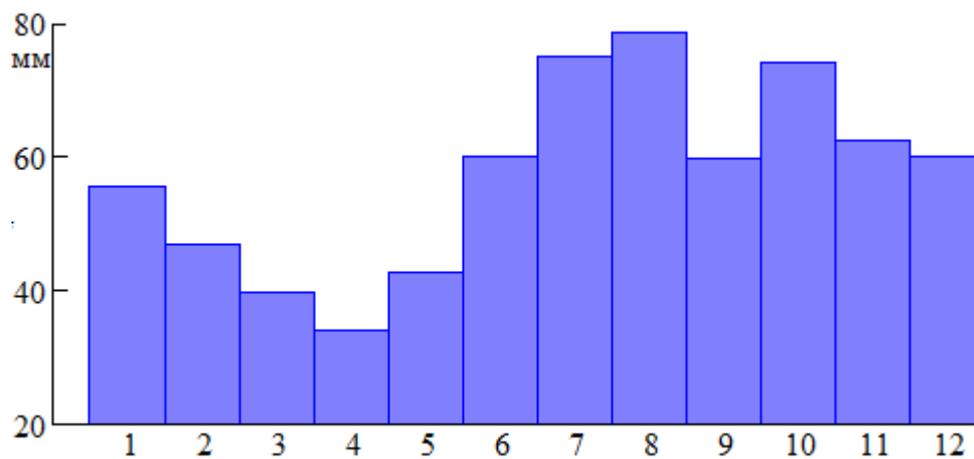


Рисунок 1.7 – Диаграмма средних сумм осадков за месяц в Мамоново (1991-2020)

Рассчитаем средневзвешенную сумму годовых осадков в бассейне реки Прохладной:

$$R_s = (\omega_1 R_1 + \omega_2 R_2 + \dots) / (\omega_1 + \omega_2 + \dots) = (815,7 \cdot 71 + 689,2 \cdot 29) / 100 = 779,0 \text{ мм.}$$

2 РЯД СРЕДНИХ ГОДОВЫХ РАСХОДОВ ВОДЫ

2.1 График ряда средних годовых расходов. интегрально-разностная кривая

Обработку файла с данными ряда средних годовых расходов (СГР) целесообразно выполнить в среде Mathcad. Разберем подробно последовательность обработки.

В начале программы устанавливаем начальный номер массива, равный единице, с помощью следующего оператора:

ORIGIN := 1

Далее необходимо считать числовую информацию из заданного текстового файла (в примере – для реки Прохладной):

$GQ := \text{READPRN}(\text{"СГР_рПрохладная 1901-2009.txt"})$

Замечание: текстовый файл должен находиться в той же папке, в которой сохранена программа Mathcad.

Первый столбец представляет собой перечень лет, второй – СГР ($\text{м}^3/\text{с}$). Присваиваем соответствующие идентификаторы:

$G := QG^{<1>} \quad Q := QG^{<2>}$

Найдем количество строк массива СГР (длину ряда):

$n := \text{rows}(QG) = 109 \quad i := 1 \dots n$

Замечание: знак ... следует выбрать в подменю «Матрицы», а не набирать на клавиатуре.

Найдем коэффициенты линейной регрессии с помощью оператора

$aq := \text{regress}(G, Q, 1)$

Уравнение линейной регрессии:

$Qt(go) := \text{interp}(aq, G, Q, go) \quad go := 1900, 1910 \dots 2010$

Линейный тренд и данные наблюдений представлены на рисунке 2.1.

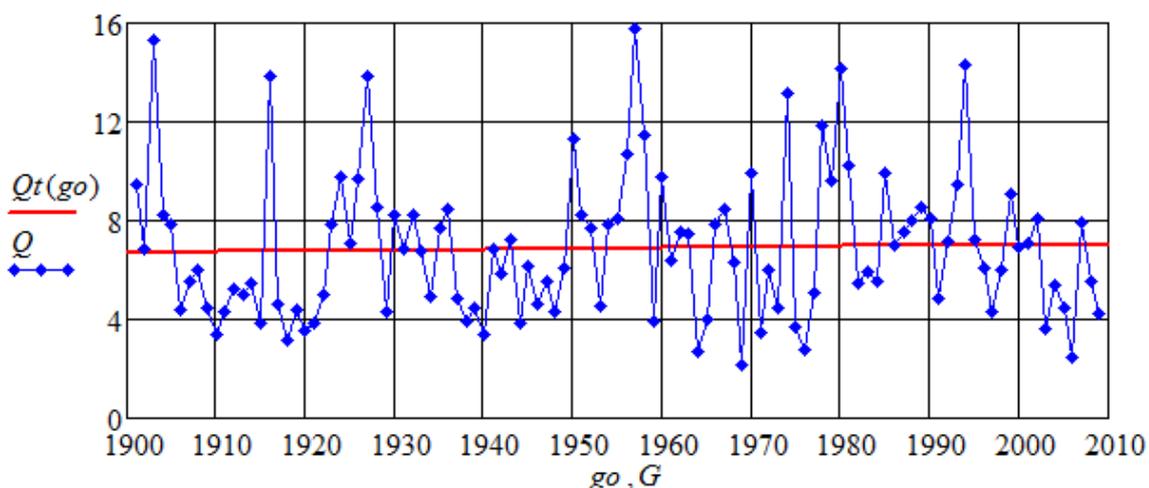


Рисунок 2.1 – Гидрологический ряд реки Прохладной – ГП Светлое (средние годовые расходы воды, $\text{м}^3/\text{с}$): точки – данные наблюдений (восстановленные), прямая – линейный тренд

Главный параметр гидрологического ряда реки – это средний многолетний расход (норма расхода), который представляет собой среднее арифметическое годовых расходов. В среде Mathcad для нахождения среднего арифметического используется такой оператор:

$$Q_s := \text{mean}(Q) = 6.88$$

Для построения интегрально-разностной кривой СГР IR_j рассчитаем модульные коэффициенты СГР k_i :

$$k_i := \frac{Q_i}{Q_s} \quad j := 2..n + 1 \quad G1 := \text{stack}(1900, G)$$

$$IR_1 := 0 \quad IR_j := \sum_{v=1}^{j-1} (k_v - 1)$$

Результаты расчета представлены на рисунках 2.2, 2.3.

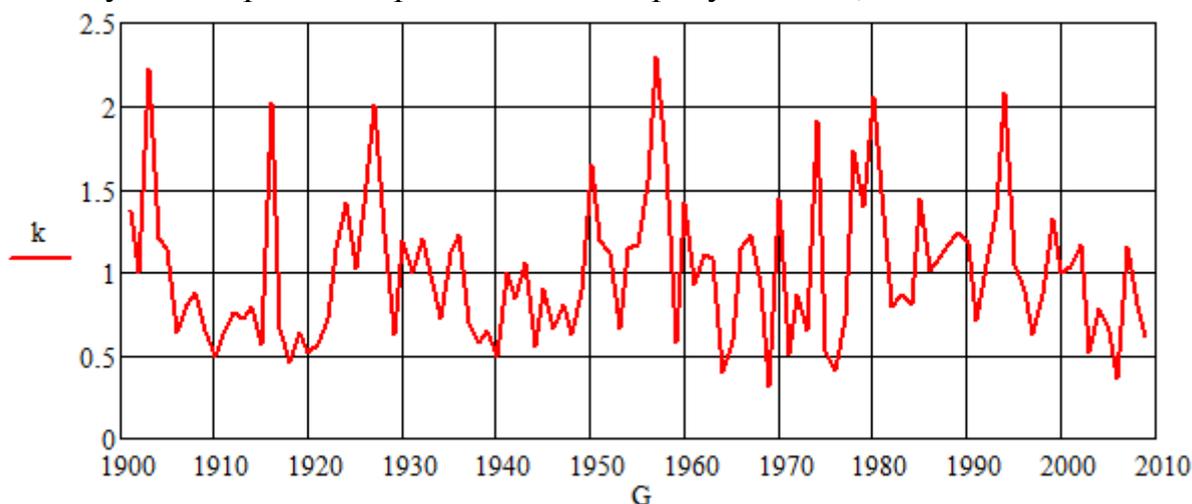


Рисунок 2.2 – Модульные коэффициенты СГР реки Прохладной

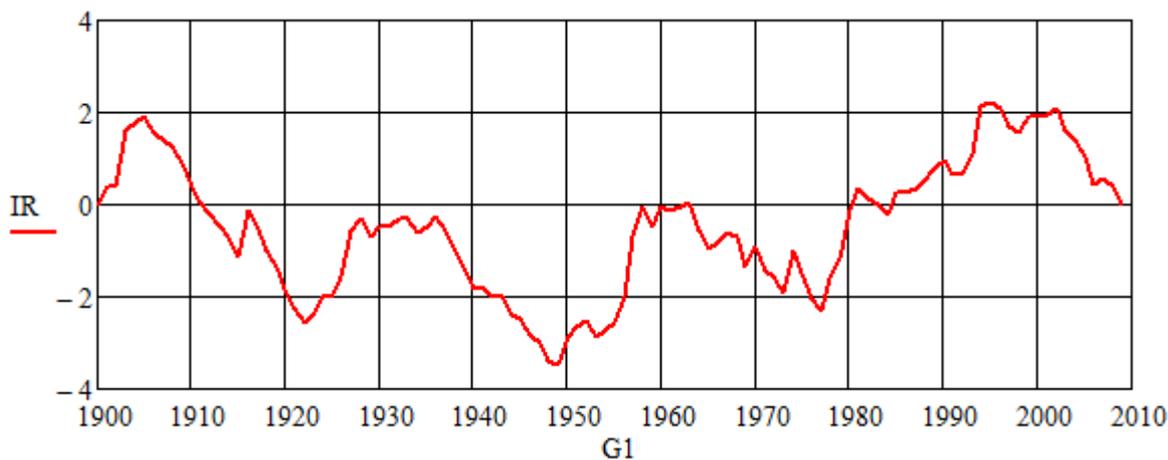


Рисунок 2.3 – Интегрально-разностная кривая СГР реки Прохладной

По значениям модульных коэффициентов СГР можно оценить положительную и отрицательную асимметрию распределения. Интегрально-разностная кривая (ИРК) обязательно должна выходить из нуля и заканчиваться в нуле. ИРК позволяет по убыванию и возрастанию определить периоды малой

и большой водности реки. Так, на рисунке 2.3 видно, что с начала наблюдений ИРК шла вверх, что соответствует многоводным годам реки Прохладной. После 1905 до 1915 года ИРК шла вниз – это были маловодные годы, и т. д.

2.2 Проверка линейного тренда, достаточности длины и однородности ряда

Проверим статистическую значимость линейного тренда СГР по критерию Стьюдента. *Нулевая гипотеза*: линейный тренд значим. Рассчитаем значение статистики Стьюдента tB :

$$G_s := \text{mean}(G) \quad B := aq_5$$

$$SX := \sum_{i=1}^n (G_i - G_s)^2 \quad SY := \sum_{i=1}^n (Q_i - Q_t(G_i))^2 \quad \varepsilon B := \sqrt{\frac{SY}{(n-2) \cdot SX}}$$

$$tB := \frac{B}{\varepsilon B} \quad tB = 0.373$$

Найдем критическое значение статистики t_{kr} :

$$\alpha_0 := 0.05 \quad t_{kr} := qt(1 - 0.5 \cdot \alpha_0, n - 2) = 1.982$$

Получилось $tB < t_{kr}$, значит, нулевая гипотеза должна быть отвергнута. Линейный тренд статистически незначим. Гидрологический ряд реки Прохладной можно считать стационарным.

Проверка достаточности длины, в соответствии со сводом правил [4], проводится по значению относительной погрешности среднего многолетнего расхода Q_s .

Сначала необходимо рассчитать вспомогательные суммы:

$$Q_{s1} := \frac{\sum_{i=2}^n Q_i}{n-1} \quad Q_{s2} := \frac{\sum_{i=1}^{n-1} Q_i}{n-1}$$

Смещенное значение коэффициента автокорреляции ряда СГР:

$$r_{11} := \frac{\sum_{i=2}^n [(Q_i - Q_{s1}) \cdot (Q_{i-1} - Q_{s2})]}{\sqrt{\sum_{i=2}^n (Q_i - Q_{s1})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^{n-1} (Q_i - Q_{s2})^2}} \quad r_{11} = 0.24$$

Несмещенное значение коэффициента автокорреляции ряда СГР:

$$r_1 := -0.01 + 0.98 \cdot r_{11} - 0.06 \cdot r_{11}^2 + \left(1.66 + 6.46 \cdot r_{11} + 5.69 \cdot r_{11}^2\right) \cdot \frac{1}{n} \quad r_1 = 0.255$$

Средняя квадратичная погрешность среднего многолетнего расхода (абсолютная):

$$\sigma_{Qs} := \frac{sQ}{\sqrt{n}} \cdot \sqrt{\frac{1+r1}{1-r1}} \quad \sigma_{Qs} = 0.364$$

Относительная средняя квадратичная погрешность среднего многолетнего расхода (в процентах):

$$Ot_{Qs} := \frac{\sigma_{Qs}}{Qs} \cdot 100 = 5.3$$

По СП [4] достаточность длины ряда СГР определяется по выполнению двух условий: 1) Ряд СГР – репрезентативный (включает по несколько периодов большой и малой водности); 2) Относительная средняя квадратичная погрешность среднего многолетнего расхода менее 10 %. Выполнение первого условия очевидно из рисунка 2.1; второе условие также выполнено – $Qt_{Qs} < 10$ %. Следовательно, длина ряда СГР достаточная для использования его характеристик в инженерных гидрологических расчетах.

Для проверки однородности ряда СГР разобьем его на две части: Q1, Q2. Так как неизвестно о каких-либо мероприятиях, которые могли изменить гидрологические характеристики реки Прохладной, можно взять части одинаковой длины (если n – нечетное, с разницей на единицу):

$$n1 := 54 \quad n2 = n - n1 = 55.$$

$$Q1 := \text{submatrix}(Q, 1, n1, 1, 1) \quad Q2 := \text{submatrix}(Q, n1+1, n, 1, 1).$$

Найдем для каждой части ряда точечные оценки математического ожидания и среднего квадратичного отклонения (с.к.о.):

$$Qg1 := \text{mean}(Q1) = 6.53 \quad Qg2 := \text{mean}(Q2) = 7.22.$$

$$sQ1 := \text{Stdev}(Q1) = 2.72 \quad sQ2 := \text{Stdev}(Q2) = 3.11.$$

Проверяемая (нулевая) гипотеза: дисперсии двух частей ряда равны.

Рассчитаем статистику Фишера (отношение большей дисперсии к меньшей):

$$Ff := \left(\frac{sQ2}{sQ1} \right)^2 \quad Ff = 1.307$$

Критическое значение статистики Фишера:

$$Fkr := qF(1 - \alpha, n1 - 1, n2 - 1) = 1.573.$$

Так как $Ff < Fkr$, нулевая гипотеза не отвергается.

Проверяемая (нулевая) гипотеза: математические ожидания двух частей ряда равны.

Средневзвешенное с.к.о.

$$Sf := \sqrt{\frac{(n1 - 1) \cdot sQ1^2 + (n2 - 1) \cdot sQ2^2}{n1 + n2 - 2}} \quad Sf = 2.921$$

Значение статистики Стьюдента

$$tf := \left(\frac{|Q_{g1} - Q_{g2}|}{Sf} \right) \cdot \sqrt{\frac{(n1 - 1) \cdot (n2 - 1)}{n1 + n2 - 2}} \quad tf = 1.221$$

Критическое значение статистики Стьюдента

$$tkr := qt(1 - 0,5 \cdot \alpha, n - 2) = 1,982.$$

Так как $tf < tkr$, нулевая гипотеза не отвергается.

Таким образом, данные выборки не противоречат гипотезе однородности ряда СГР.

2.3 Эмпирическая и теоретическая (Пирсона 3-го типа) обеспеченность СГР

Обеспеченностью некоторого значения расхода называют вероятность его превышения в данном году. Эмпирическая обеспеченность находится по следующей формуле из Свода правил [4]:

$$P_i := \frac{i}{n+1} \cdot 100$$

Кроме того, требуется выполнить сортировку СГР по убыванию с помощью операторов:

$$Q_01 := \text{sort}(Q) \quad Q_0 := \text{reverse}(Q_01).$$

Для выполнения задания необходимо рассчитать значения трех основных параметров ряда СГР: 1) норма расхода $Q_s = 6,88$ (найдена ранее); 2) коэффициент вариации C_v ; 3) коэффициент асимметрии C_s :

$$sQ := \text{Stdev}(Q) = 2,93 \quad C_s := \text{skew}(Q) = 0,974 \quad C_v = \frac{sQ}{Q_s} = 0.426$$

В качестве теоретического используем распределение Пирсона 3-го типа. Рассчитаем параметры этого распределения [6]:

$$\alpha_p := \frac{4}{C_s^2} \quad \beta_p := \frac{2}{C_s \cdot C_v} \quad k_{\min} := 1 - 2 \cdot \frac{C_v}{C_s} \quad Q_{\min} := k_{\min} \cdot Q_s$$

Плотность $fP(x)$ и функция $FP(x)$ распределения Пирсона 3-го типа задаются формулами

$$fP(x) := \frac{\beta_p^{\alpha_p} \cdot \left(\frac{x}{Q_s} - k_{\min} \right)^{\alpha_p - 1}}{\Gamma(\alpha_p)} \cdot \exp \left[-\beta_p \cdot \left(\frac{x}{Q_s} - k_{\min} \right) \right]$$

$$FP(x) := \begin{cases} \frac{1}{Q_s} \cdot \int_{Q_{\min}}^x fP(x) dx & \text{if } x > Q_{\min} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

На рисунке 2.4 представлены результаты расчета функции и плотности распределения Пирсона 3-го типа. Предварительно следует задать диапазон изменения СГР: $x := 0 \dots 20$.

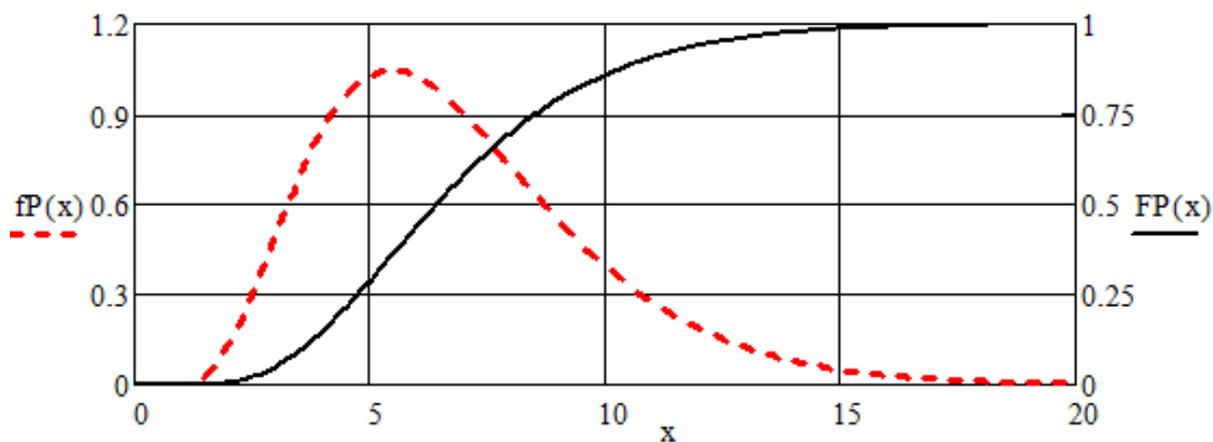


Рисунок 2.4 – Функция и плотность распределения Пирсона 3-го типа СГР

Теоретическая обеспеченность СГР $P_i(x)$ (в процентах) выражается через функцию распределения (рисунок 2.5).

$$P_i(x) := 100 \cdot (1 - FP(x))$$

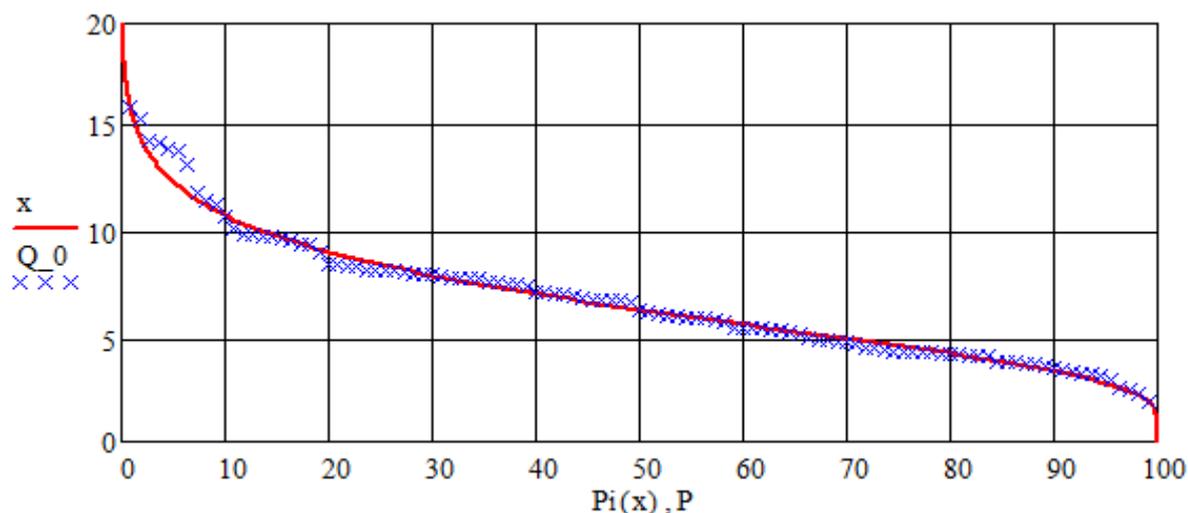


Рисунок 2.5 – Обеспеченность СГР реки Прохладной: эмпирическая (точки) и теоретическая – Пирсона 3-го типа (линия)

2.4 Расчет значений СГР заданной обеспеченности. Характеристики стока

В соответствии с СП [4], при периоде наблюдений n от 15 до 30 лет выделяют три группы лет: многоводные годы ($P < 33,3 \%$), средние по водности годы ($33,3 \% \leq P \leq 66,7 \%$) и маловодные годы ($P > 66,7 \%$). При продолжительности наблюдений более 30 лет, как в рассматриваемом случае, выделяют пять групп: очень многоводные годы ($P < 16,7 \%$), многоводные годы ($16,7 \% \leq P < 33,3 \%$), средние по водности годы ($33,3 \% \leq P \leq 66,7 \%$), маловодные годы ($66,7 \% < P \leq 83,3 \%$) и очень маловодные годы ($P > 83,3 \%$).

С помощью оператора `root` найдем расходы воды, соответствующие указанным значениям обеспеченности. Перед применением оператора задаем начальное приближение расхода воды Q_x .

$$\begin{aligned}
Q_x &:= Q_s \quad Q_{-1} := \text{root}(\text{Pi}(Q_x) - 16,7, Q_x) \quad Q_{-1} = 9,57; \\
Q_{-2} &:= \text{root}(\text{Pi}(Q_x) - 33,3, Q_x) \quad Q_{-2} = 7,707; \\
Q_{-3} &:= \text{root}(\text{Pi}(Q_x) - 66,7, Q_x) \quad Q_{-3} = 5,294.
\end{aligned}$$

Если в некотором году был зафиксирован средний расход воды реки Прохладной (ГП Свободное) менее 4,137 м³/с, то этот год следует отнести к очень маловодным, если более 9,57 м³/с – к очень многоводным и т. д.

Во всех методах расчета по значениям СГР за отдельные водохозяйственные годы (а в методах компоновки и реального года и за расчетные внутригодовые интервалы времени: лимитирующий период, лимитирующий сезон, нелимитирующий сезон, лимитирующий месяц) определяют расчетные квантили. Стандартными квантилями кривых распределения обеспеченности СГР являются следующие [4]:

- для многоводных лет, периодов, сезонов и месяцев – 1 %, 3 %, 5 %, 10 %, 25 %;
- для маловодных лет, периодов, сезонов и месяцев – 75 %, 90 %, 95 %, 97 %, 99%;
- для средних по водности лет – 50 %.

Найдем средние многолетние параметры стока реки.

Средний годовой объем стока реки W равен норме расхода Q_s (м³/с), умноженной на количество секунд за период наблюдений T , деленной на количество лет наблюдений. В рассматриваемом случае количество лет наблюдений $n = 109$, из них 27 високосных. Откуда

$$T := (109 \cdot 365 + 27) \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60.$$

Средний годовой объем стока реки Прохладной (ГП Светлое) в куб. км:

$$W := \frac{Q_s \cdot T}{n} \cdot 10^{-9} = 0.217$$

Средний годовой модуль стока реки M равен СГР, деленному на площадь водосборного бассейна до рассматриваемого створа (в нашем случае $A = 941$ км²). Принятая в гидрологии единица измерения – л/(с·км²). Для реки Прохладной получим:

$$M := \frac{Q_s \cdot 1000}{A} = 7.313$$

Годовой слой стока реки h равен годовому объему стока, деленному на площадь водосборного бассейна до рассматриваемого створа. Принятая в гидрологии единица измерения – мм. Для реки Прохладной получим:

$$h := \frac{W}{A} \cdot 10^6 = 230.8$$

Коэффициент стока ϕ равен слою стока, деленному на среднюю годовую сумму атмосферных осадков R_{s1} за тот же период наблюдений. Средний годовой слой стока реки Прохладной был найден за 1901-2009 годы.

Средневзвешенная сумма осадков на водосборе за указанный период $R_{s1} = 726,8$ мм. Откуда получим

$$\varphi := \frac{h}{R_{s1}} = 0.318$$

Слой стока и сумма осадков выражены в мм, поэтому величина φ – безразмерная. Она показывает, какую часть атмосферных осадков составляет сток реки.

Замечание: в предыдущей формуле для приближенного расчета можно использовать ранее найденное значение R_s . Определение R_{s1} является одним из дополнительных заданий для студентов, желающих получить отличную оценку.

3 ВНУТРИГОДОВОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СТОКА РЕКИ

3.1 Оцифровка гидрографов в годы разной водности.

Характеристики за год

Гидрографом называют изменение ежедневных расходов воды в реке за год или определенный период (например, за половодье), представленное в графическом виде. До середины 1980-х годов результаты наблюдений за ежедневными уровнями и расходами воды рек СССР публиковались в гидрологических ежегодниках (ГЕ). Часть этих изданий, начиная с 1947 года, имеется в библиотеке КГТУ (например, [11, 12]) К сожалению, за некоторые годы ГЕ отсутствуют.

Необходимо найти в библиотеке ГЕ, в котором имеются данные о ежедневных расходах воды (ЕРВ) реки своего варианта в очень маловодный год. Аналогично – в очень многоводный год. Следует использовать отметки расхода, рассчитанные в подразделе 2.4. Если таковые не удастся обнаружить в библиотеке, допускается ограничиться многоводными и маловодными годами. Далее выполняется оцифровка.

Покажем подробно, как выполнить это задание. В файле СГР отметим годы очень многоводные и очень маловодные. Например, для реки Прохладной, соответственно, 1960 год ($Q = 9,78 \text{ м}^3/\text{с} > 9,57 \text{ м}^3/\text{с}$) и 1964 год ($Q = 2,69 \text{ м}^3/\text{с} < 4,137 \text{ м}^3/\text{с}$). Далее проверяем, имеются ли ГЕ за указанные годы в библиотеке КГТУ, есть ли в них ЕРВ реки по своему варианту. Если нет, следует выбрать другие годы. Если есть, заполняется таблица 3.1.

Таблица 3.1 – ЕРВ р. Прохладной в очень многоводный и очень маловодный годы

№ п/п	Дата наблюдений	ЕРВ, м ³ /с	
		1960	1964
1	01.01	6.27	3.60
2	02.01	5.56	3.78
3	03.01	5.41	3.62
...			
365	30.12	12.4	1.18
366	31.12	9.66	1.13

Замечания: 1) значения ЕРВ следует заносить в таблицу 3.1, используя десятичную точку, а не запятую; 2) если оба выбранных года не високосные, последнее значение будет 365-м; 3) если один год високосный, а другой нет, следует составлять две отдельных таблицы.

Далее выделяем полный столбец EPB за один год (без заголовков):

6.27
5.56
...
12.4
9.66

Выполняем преобразование в Microsoft Word: «Макет → Преобразовать в текст». Полученный столбец чисел сохраняем в формате txt, например, 1960.txt и 1964.txt.

Для обработки EPB составляем отдельную Mathcad-программу.

ORIGIN := 1

Q1960 := READPRN("1960.txt") Q1964 := READPRN("1964.txt")

Проверим количество элементов массива EPB:

rows(Q1960)=366 rows(Q1964)=366 i := 1...366

Проверим СГР:

Qs1960 := mean(Q1960)=9.78 Qs1964 := mean(Q1964)=2.69

Полученные значения должны совпадать с соответствующими членами ряда из файла СГР.

На рисунках 3.1, 3.2 приведены гидрографы 1960, 1964 года, построенные в среде Mathcad. При подготовке научных докладов и статей рекомендуется выполнить обработку рисунков в одном из графических редакторов, например, Paint. На рисунке 3.3 внизу добавлено обозначение месяцев (римские цифры) и единицы измерения расхода воды.

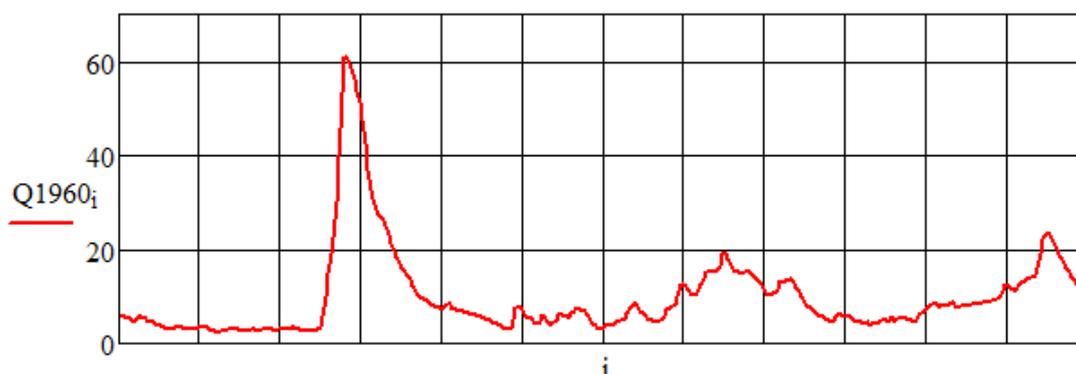


Рисунок 3.1 – Гидрограф реки Прохладной (ГП Светлое) 1960 года, построенный в среде Mathcad

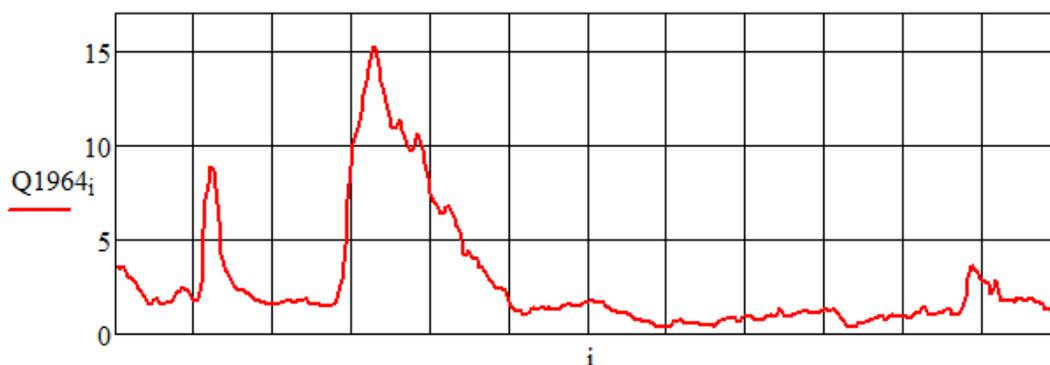


Рисунок 3.2 – Гидрограф реки Прохладной (ГП Светлое) 1964 года, построенный в среде Mathcad

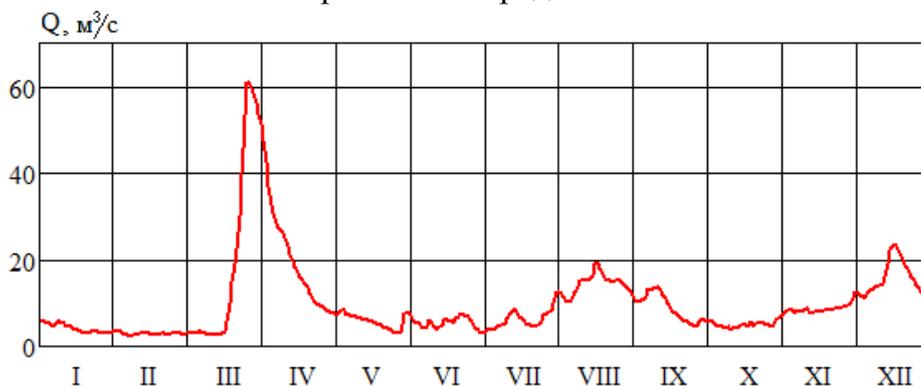


Рисунок 3.3 – Гидрограф реки Прохладной (ГП Светлое) 1960 года, обработанный в графическом редакторе

Найдем характеристики стока реки в 1960 и 1964 годах. Объем стока реки Прохладной (ГП Светлое) за 1960-й год (в куб. км):

$$W := 9.78 \cdot 366 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 \cdot 10^{-9} = 0.309.$$

Годовой модуль стока реки Прохладной, л/(с·км²):

$$M := \frac{9.78 \cdot 1000}{941} = 19.39$$

Годовой слой стока реки Прохладной (мм):

$$h := \frac{W}{A} \cdot 10^6 = 328.7$$

Объем стока реки Прохладной (ГП Светлое) за 1964-й год (в куб. км):

$$W := 2.69 \cdot 366 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 \cdot 10^{-9} = 0.0851.$$

Годовой модуль стока реки Прохладной (1964), л/(с·км²):

$$M := \frac{2.69 \cdot 1000}{941} = 2.859$$

Годовой слой стока реки Прохладной (1964), мм:

$$h := \frac{W}{A} \cdot 10^6 = 90.4$$

3.2 Минимальные расходы воды (1-, 5-, 10 и 30-суточные)

Минимальные годовые расходы воды (МГРВ) в реке являются важной характеристикой для природообустройства и различных водохозяйственных

мероприятий. Найдем МГРВ реки Прохладной в 1964 году по массиву Q1964. Проще всего найти минимальный суточный расход, обозначим его Q1964_1 (м³/с):

$$Q1964_1 := \min(Q1964) = 0.361.$$

По таблице 3.1 (полной) определим, что МГРВ-1 (0,361 м³/с) был зафиксирован на 204-й день 1964 года, т. е. 22.07.1964.

Чтобы найти МГРВ-5, МГРВ-10, МГРВ-30, необходимо рассчитать элементы вспомогательных массивов Q5, Q10, Q30 (средние расходы за 5, 10 и 30 суток) [6]:

$$j := 1..n - 4 \quad Q5_j := \frac{1}{5} \cdot \sum_{i=j}^{j+4} Q1964_i$$

$$Q1964_5 := \min(Q5) = 0.393$$

$$j := 1..n - 9 \quad Q10_j := \frac{1}{10} \cdot \sum_{i=j}^{j+9} Q1964_i$$

$$Q1964_10 := \min(Q10) = 0.47$$

$$j := 1..n - 29 \quad Q30_j := \frac{1}{30} \cdot \sum_{i=j}^{j+29} Q1964_i$$

$$Q1964_30 := \min(Q30) = 0.529.$$

Определим дату, с которой началась пятидневка минимальных расходов. Выводим на печать массив Q5 (рисунок 3.4). Находим во втором столбце значение 0.393 (предварительно можно оценить положение по гидрографу на рисунке 3.2). Этот элемент имеет номер 210. По таблице 3.1 определяем дату – 28.07.1964. Декада минимальных расходов МГРВ-10 (0,47 м³/с) началась с 206-го дня года (24.07.1964); МГРВ-30 (0,526 м³/с) – с 204-го дня (22.07.1964).

Q5 =	<table border="1"><thead><tr><th></th><th>1</th></tr></thead><tbody><tr><td>203</td><td>0.661</td></tr><tr><td>204</td><td>0.61</td></tr><tr><td>205</td><td>0.578</td></tr><tr><td>206</td><td>0.534</td></tr><tr><td>207</td><td>0.489</td></tr><tr><td>208</td><td>0.445</td></tr><tr><td>209</td><td>0.418</td></tr><tr><td>210</td><td>0.393</td></tr><tr><td>211</td><td>0.406</td></tr><tr><td>212</td><td>...</td></tr></tbody></table>		1	203	0.661	204	0.61	205	0.578	206	0.534	207	0.489	208	0.445	209	0.418	210	0.393	211	0.406	212	...
	1																						
203	0.661																						
204	0.61																						
205	0.578																						
206	0.534																						
207	0.489																						
208	0.445																						
209	0.418																						
210	0.393																						
211	0.406																						
212	...																						

Q10 =	<table border="1"><thead><tr><th></th><th>1</th></tr></thead><tbody><tr><td>203</td><td>0.553</td></tr><tr><td>204</td><td>0.514</td></tr><tr><td>205</td><td>0.486</td></tr><tr><td>206</td><td>0.47</td></tr><tr><td>207</td><td>0.479</td></tr><tr><td>208</td><td>0.484</td></tr><tr><td>209</td><td>0.503</td></tr><tr><td>210</td><td>0.532</td></tr><tr><td>211</td><td>0.556</td></tr><tr><td>212</td><td>...</td></tr></tbody></table>		1	203	0.553	204	0.514	205	0.486	206	0.47	207	0.479	208	0.484	209	0.503	210	0.532	211	0.556	212	...
	1																						
203	0.553																						
204	0.514																						
205	0.486																						
206	0.47																						
207	0.479																						
208	0.484																						
209	0.503																						
210	0.532																						
211	0.556																						
212	...																						

Q30 =	<table border="1"><thead><tr><th></th><th>1</th></tr></thead><tbody><tr><td>203</td><td>0.538</td></tr><tr><td>204</td><td>0.529</td></tr><tr><td>205</td><td>0.531</td></tr><tr><td>206</td><td>0.535</td></tr><tr><td>207</td><td>0.541</td></tr><tr><td>208</td><td>0.55</td></tr><tr><td>209</td><td>0.56</td></tr><tr><td>210</td><td>0.576</td></tr><tr><td>211</td><td>0.591</td></tr><tr><td>212</td><td>...</td></tr></tbody></table>		1	203	0.538	204	0.529	205	0.531	206	0.535	207	0.541	208	0.55	209	0.56	210	0.576	211	0.591	212	...
	1																						
203	0.538																						
204	0.529																						
205	0.531																						
206	0.535																						
207	0.541																						
208	0.55																						
209	0.56																						
210	0.576																						
211	0.591																						
212	...																						

Рисунок 3.4 – Вспомогательные массивы средних 5-, 10- и 30-суточных расходов

Аналогичным образом найдем значения МГРВ в 1960-м году ($\text{м}^3/\text{с}$):

$$Q_{1960_1} := \min(Q_{1960}) = 2.424$$

$$Q_{1960_5} := \min(Q_5) = 2.596$$

$$Q_{1960_10} := \min(Q_{10}) = 2.752$$

$$Q_{1960_30} := \min(Q_{30}) = 2.845.$$

Даты начала соответствующих периодов наблюдения:

МГРВ-1 – 37-й день 1960 года – 06.02.1960;

МГРВ-5 – с 70-го дня 1960 года – 10.03.1960;

МГРВ-10 – с 44-го дня 1960 года – 13.02.1960;

МГРВ-30 – с 34-го дня 1960 года – 03.02.1960.

Считается, что по минимальному расходу воды можно оценить подземное питание реки. Обратим внимание, что в очень многоводном 1960 году все значения МГРВ были много больше, чем в очень маловодном 1964 году.

3.3 Весеннее половодье (начало и конец, слой стока). Паводки

Важными характеристиками водного режима реки являются максимальные расходы за год (МРГ). Они могут быть зафиксированы во время весеннего половодья и во время паводковых явлений. На реках европейской части России нередки летние и осенние дождевые паводки. Особенностью водного режима рек Калининградской области являются зимние паводки и половодье с несколькими пиками. Указанные явления обусловлены частыми оттепелями на территории области, которые чередуются с заморозками, и атмосферными осадками в виде дождя в холодное время года. Такие особенности водного режима рек усилились в конце XX, начале XXI века из-за повышения температуры воздуха в холодный период года.

Наибольшее в году значение расхода воды находится с помощью оператора max:

$$Q_{1960_m} := \max(Q_{1960}) = 60.70.$$

$$Q_{1964_m} := \max(Q_{1964}) = 15.26.$$

Определим характеристики весеннего половодья реки Прохладной в 1960 году по гидрографу на рисунке 3.5. Фиксируем начало половодья (подъем расхода воды) на 76-й день года, что соответствует 18.03.1960; конец половодья – 114-й день года (23.04.1960). Максимум расхода половодья – 100-й день года (09.04.1960). Продолжительность половодья (в сутках):

$$np := 114 - 76 + 1 = 39.$$

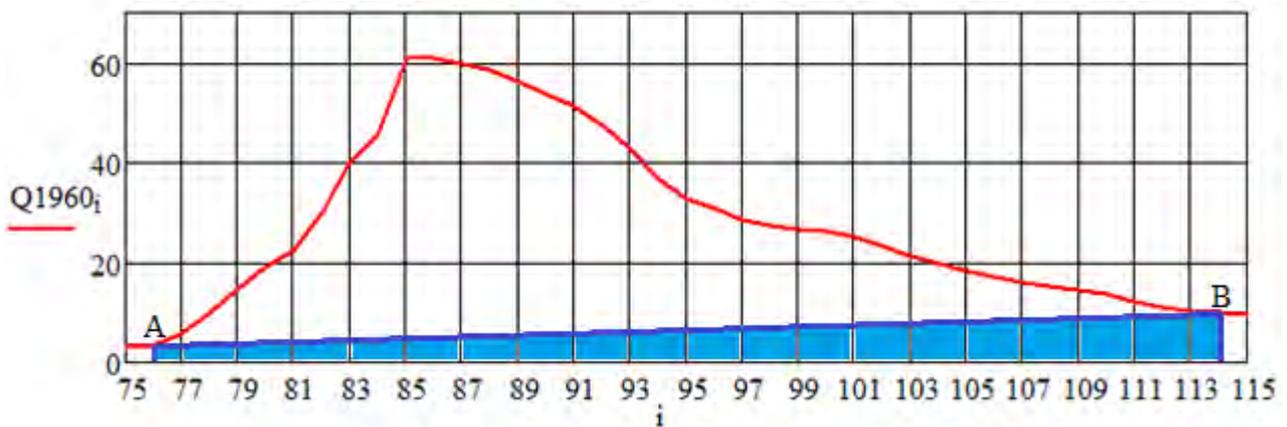


Рисунок 3.5 – Гидрограф весеннего половодья реки Прохладной (ГП Свободное) в 1960 году

Полный слой стока $hp1$ на время весеннего половодья 1960 года (мм):

$$W_{p1} := \sum_{j=76}^{114} Q1960_j \quad hp1 := \frac{W_{p1} \cdot 24 \cdot 3600}{A \cdot 1000} = 102.7$$

На гидрографе половодья выделяют часть стока, обусловленную грунтовыми водами (подземный сток). В зависимости от гидравлической связи реки и подземных вод, линия АВ может быть прямой, выпуклой или вогнутой. У малых и средних рек, как правило, считают, что линия АВ – прямая. Площадь на рисунке 3.5 под прямой АВ (выделена синим цветом) соответствует подземному стоку. Чтобы оценить его, найдем уравнение прямой АВ:

$$y(x) := Q1960_{76} + (x - 76) \cdot \frac{Q1960_{114} - Q1960_{76}}{114 - 76}$$

Слой подземного стока $hp2$ на время весеннего половодья 1960 года (мм):

$$W_{p2} := \sum_{i=76}^{114} y(i) \quad hp2 := \frac{W_{p2} \cdot 24 \cdot 3600}{A \cdot 1000} = 23.4$$

Разницу между $hp1$ и $hp2$ часто называют снеговым питанием реки:

$$hp := hp1 - hp2 = 79.2.$$

Последнее будет правильно, если за время весеннего половодья не было атмосферных осадков. В противном случае, для оценки снегового питания из hp следует вычесть сумму атмосферных осадков за время весеннего половодья. Это является еще одним дополнительным заданием.

Оценим, какую часть снеговое питание реки Прохладной составляет от полного стока реки в 1960 году (в процентах):

$$\frac{79.8}{328.7} \cdot 100 = 24.1$$

Заметим, что 24,1 % следует уменьшить на сумму атмосферных осадков за время половодья, а также на слой стока зимних паводков (во время оттепелей).

По гидрографу 1960 года (рисунок 3.3) зимние паводковые явления были зафиксированы в декабре, а летние – в июле-сентябре.

Оценим слой стока за время дождевого паводка в теплый период 1960 года: начало 205-е сутки года соответствуют 23.07.1960, конец – 278-е сутки (24.09.1960). Продолжительность дождевых паводков (сут.)

$$nt := 268 - 205 + 1 = 64$$

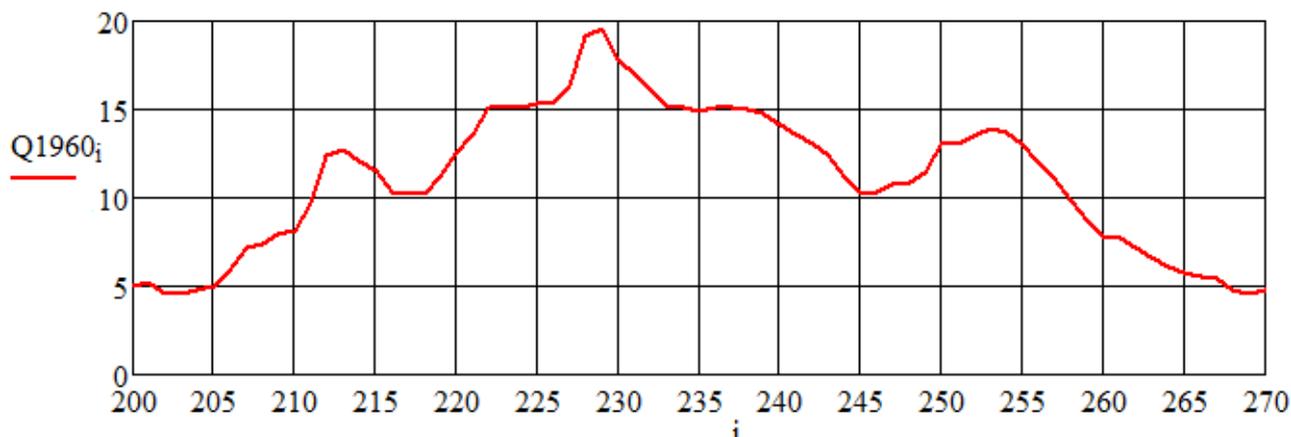


Рисунок 3.6 – Гидрограф паводковых явлений реки Прохладной в теплый период 1960 года

Слой стока за время дождевого паводка (мм):

$$Wt1 := \sum_{j=205}^{268} Q1960_j \quad ht1 := \frac{Wt1 \cdot 24 \cdot 3600}{A \cdot 1000} = 69.1$$

По рисунку 3.6 расход воды за счет подземного питания можно принять приближенно постоянным, равным $5 \text{ м}^3/\text{с}$. Тогда слой стока за счет подземного питания реки за время летне-осеннего паводка будет равен (мм):

$$ht2 := \frac{5 \cdot nt \cdot 24 \cdot 3600}{A \cdot 1000} = 29.4$$

Откуда слой дождевого стока за время паводка (мм):

$$ht := ht1 - ht2 = 39.7.$$

Аналогичным образом рассчитывается слой стока реки за время зимнего паводка.

3.4 Частота и продолжительность стояния расходов воды

Частота и продолжительность расходов реки необходима при планировании водохозяйственных мероприятий, оценке условий рыбоводства, строительстве водозаборных сооружений и т. д.

Зададим количество интервалов $s1$ расхода воды и количество границ интервалов s :

$$s1 := 16 \quad s := s1 + 1 = 17 \quad j := 1 \dots s1 \quad j1 := 1 \dots s.$$

Обозначим наибольшее и наименьшее значения расхода воды в 1960 году:

$$Q_i := \min(Q_{1960}) = 2.424. \quad Q_a := \max(Q_{1960}) = 60.7.$$

Рассчитаем величину интервала расхода воды ΔQ :

$$DQ := Q_a - Q_i = 58.276 \quad \Delta Q := \frac{DQ}{s1} = 3.642$$

Середины Q_k и границы q_r и интервалов:

$$Q_{kj} := Q_a - \Delta Q \cdot (j - 1) - 0.5 \cdot \Delta Q \quad q_{rj1} := Q_i + \Delta Q \cdot (j1 - 1).$$

Разбивка расходов воды по интервалам выполняется оператором hist:

$$N_{q1} := \text{hist}(q_r, Q_{1960}) \quad N_{qj} := N_{q1_{s-j}}$$

Проверка разбивки – сумма должна быть равна количеству дней в году:

$$SN_q := \sum_j N_{qj} \quad SN_q = 366$$

Продолжительность стояния расходов (сут.):

$$PQ_j := \sum_{i=1}^j N_{qi}$$

Рассчитанные значения показаны на рисунке 3.7, диаграммы – на рисунках 3.8, 3.9.

	1		1		1		1
1	2.424	1	58.879	1	4	1	4
2	6.066	2	55.237	2	2	2	6
3	9.708	3	51.594	3	1	3	7
4	13.351	4	47.952	4	1	4	8
5	16.993	5	44.31	5	2	5	10
6	20.635	6	40.668	6	1	6	11
7	24.277	7	37.025	7	1	7	12
8	27.92	8	33.383	8	1	8	13
9	31.562	9	29.741	9	3	9	16
10	35.204	10	26.099	10	4	10	20
11	38.846	11	22.456	11	9	11	29
12	42.489	12	18.814	12	11	12	40
13	46.131	13	15.172	13	35	13	75
14	49.773	14	11.529	14	42	14	117
15	53.415	15	7.887	15	85	15	202
16	57.058	16	4.245	16	164	16	366
17	60.7						

Рисунок 3.7 – Рассчитанные значения интервалов расходов реки Прохладной в 1960 году

По рисункам 3.7, 3.8 наибольшее количество расходов 164 попало в первый интервал, от 2,424 до 6,066 м³/с. Определим продолжительность

стояния расходов воды в реке Прохладной в 1960 году, например, выше $15 \text{ м}^3/\text{с}$. По рисунку 3.7 – это 13-й интервал (4-й от конца) столбца PQ: $PQ_{13} = 75$. Следовательно, продолжительность стояния расходов реки выше $15 \text{ м}^3/\text{с}$ в 1960 году была 75 суток, а выше $30 \text{ м}^3/\text{с}$ – 16 суток (это PQ_9).

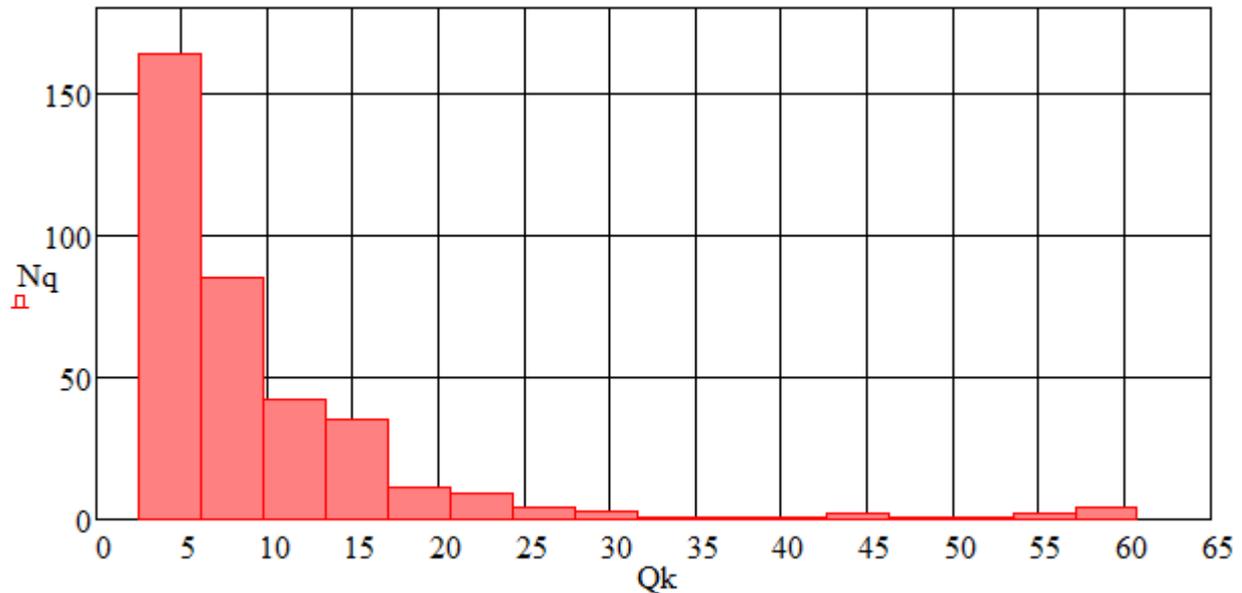


Рисунок 3.8 – Частота расходов воды в реке Прохладной в 1960 году

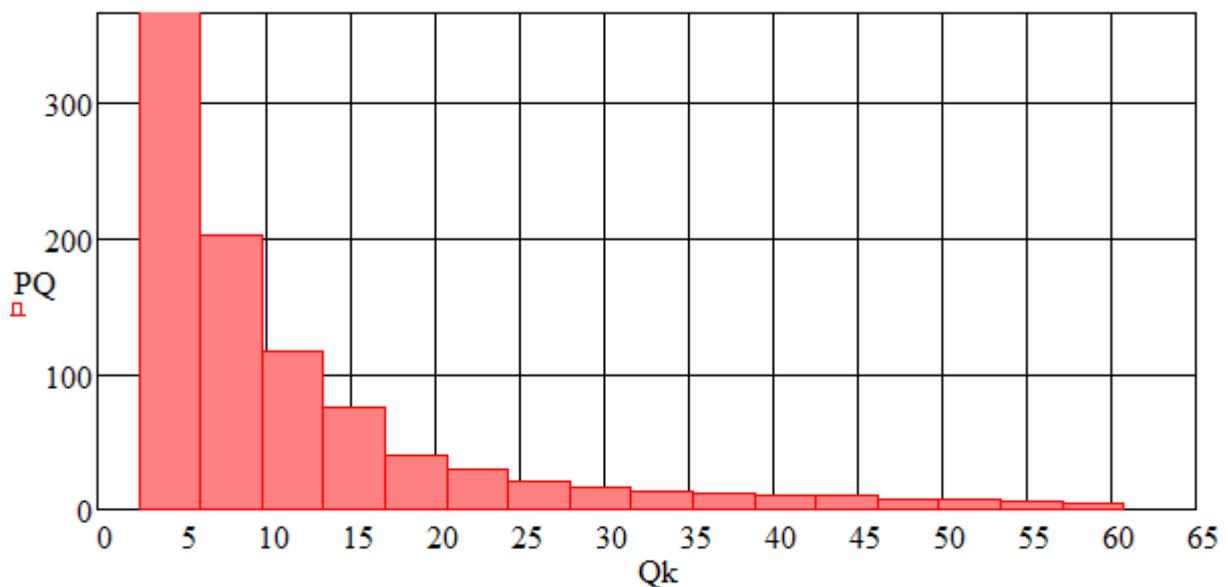


Рисунок 3.9 – Продолжительность стояния расходов воды в реке Прохладной в 1960 году

Аналогичным образом рассчитаны частота и продолжительность стояния расходов воды в реке Прохладной в 1964 году (рисунки 3.10, 3.11).

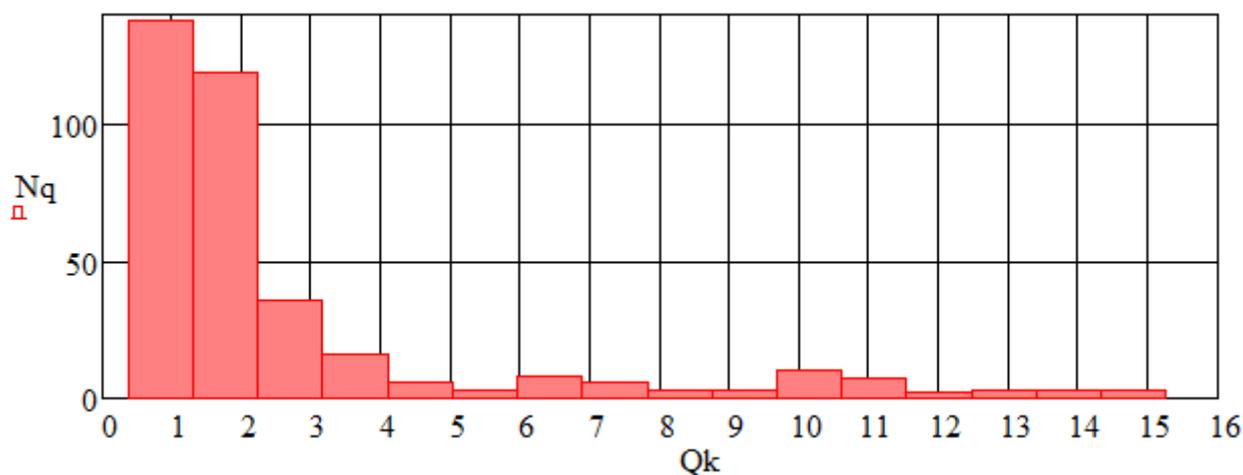


Рисунок 3.10 – Частота расходов воды в реке Прохладной в 1964 году

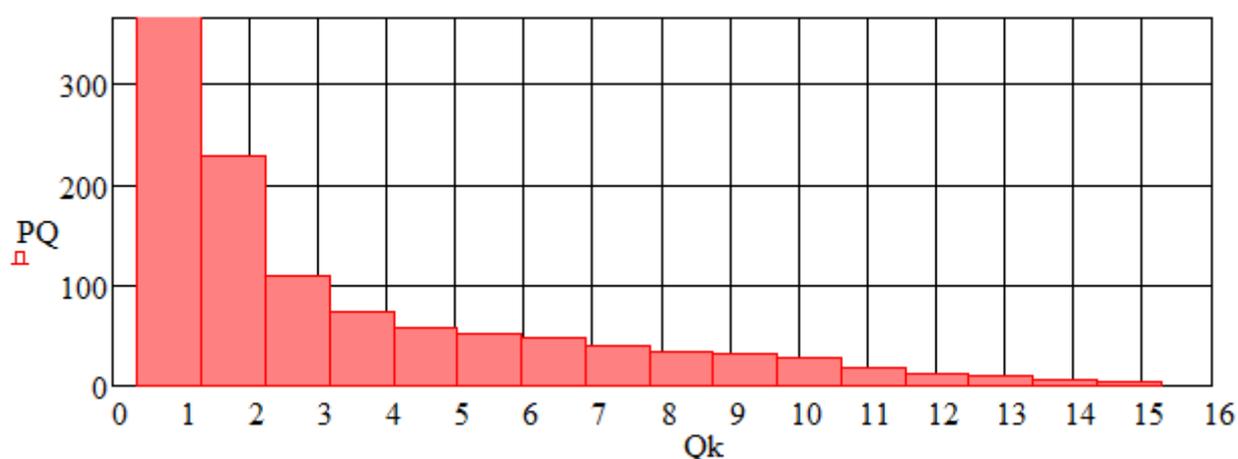


Рисунок 3.11 – Продолжительность стояния расходов воды в реке Прохладной в 1964 году

3.5 Коэффициент естественной зарегулированности стока реки (КЕЗС)

Пример расчета КЕЗС в среде Mathcad (р. Прохладная, ГП Светлое)

Среднее значение расхода воды в 1960 году: $Q_{1960} := \text{mean}(Q_{1960})$

Модульные коэффициенты расхода (МКР):

$$k_{1i} := \frac{Q_{1960i}}{Q_{s1960}}$$

МКР, ограниченные единицей:

$$k_{fi} := \begin{cases} k_{1i} & \text{if } k_{1i} < 1 \\ 1 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Вспомогательные суммы:

$$Sk1 := \sum k_f = 253.17 \quad Sk2 := \sum k_1 = 366$$

Вычисление КЕЗС 1960 года:

$$\varphi_{1960} := \frac{Sk_1}{Sk_2} \quad \varphi_{1960} = 0.692$$

Построение гидрографа р. Прохладной 1960 года

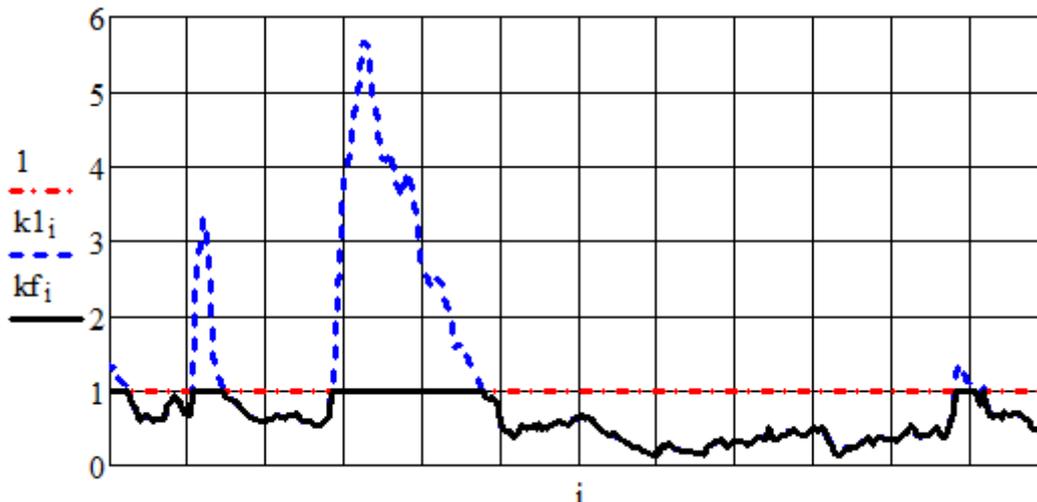


Рисунок 3.12 – Гидрограф р. Прохладной (ГП Светлое) 1960 г.

Расчет и построение эмпирической кривой обеспеченности МКР 1960 года

$$P_i := \frac{n - i + 1}{n} \quad k := \text{sort}(k_1)$$

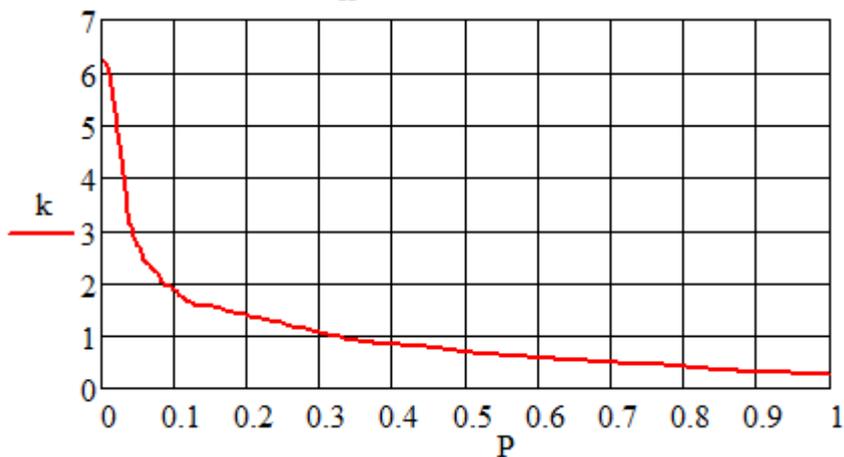


Рисунок 3.13 – Эмпирическая кривая обеспеченности МКР реки Прохладной 1960 г.

Результаты обработки рисунков в графическом редакторе представлены на рисунках 3.14, 3.15.

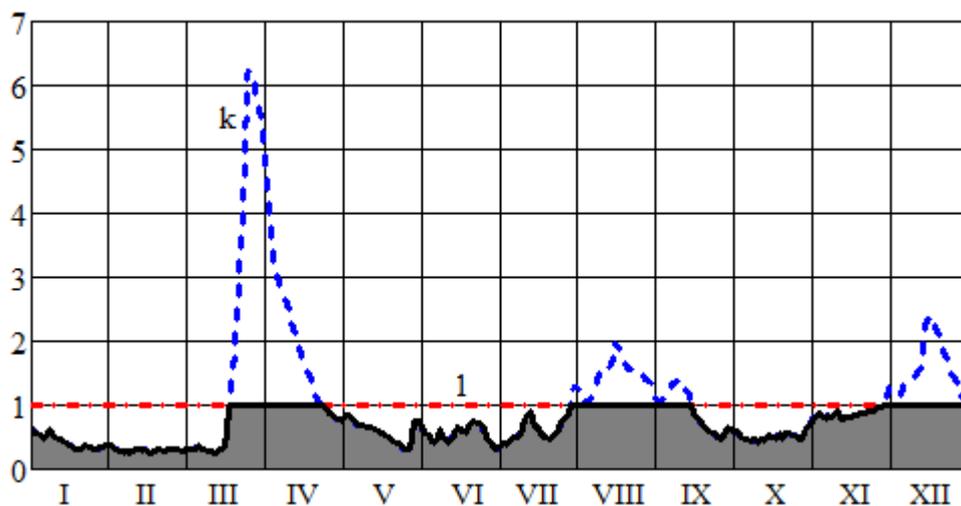


Рисунок 3.14 – Гидрограф р. Прохладной 1960 г. после обработки

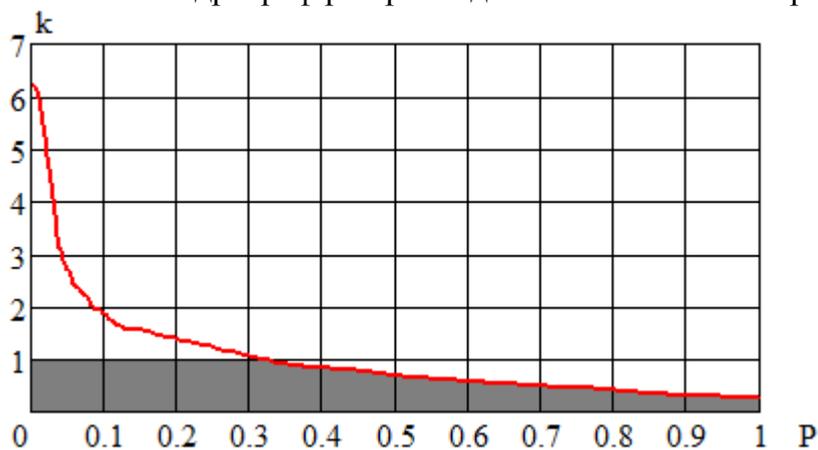


Рисунок 3.15 – Эмпирическая кривая обеспеченности МКР реки Прохладной 1960 г. после обработки

Аналогичным образом выполняются расчеты и построения для второго года.

СПИСОК ВОПРОСОВ К ЗАЩИТЕ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

1. Как построить гидрографическую схему речной системы?
2. Назовите основные морфометрические характеристики реки.
3. Что такое полное падение водотока?
4. Как рассчитать средний уклон водотока?
5. Как рассчитать извилистость водотока?
6. Назовите основные морфометрические характеристики водосборного бассейна.
7. Как рассчитать густоту речной сети?
8. Как найти длину водосборного бассейна?
9. Как рассчитать среднюю ширину водосборного бассейна?
10. Назовите морфологические характеристики водосборного бассейна.
11. Какие метеорологические станции действуют в нашей области?
12. Как найти температуру бассейна реки методом среднего взвешенного?
13. Как считать текстовый файл с данными в среде Mathcad?
14. С помощью каких операторов можно найти уравнение линейной регрессии?
15. Для чего служит интегрально-разностная кривая годовых расходов реки?
16. Как проверить значимость линейного тренда средних годовых расходов?
17. Критерий достаточности длины гидрологического ряда реки.
18. Критерии для проверки однородности гидрологического ряда.
19. Что такое обеспеченность некоторого значения расхода? Приведите пример.
20. Формула расчета эмпирической кривой обеспеченности средних годовых расходов.
21. Как построить эмпирическую кривую обеспеченности годовых расходов?
22. Что такое коэффициент естественной зарегулированности стока реки?
23. Как найти годовой слой стока реки h ?
24. Чему равен средний годовой модуль стока реки?
25. Дайте определение коэффициента стока водосборного бассейна.
26. Что такое гидрограф реки? Приведите примерный вид для рек региона.
27. Какие минимальные расходы воды в реке определяют в гидрологии?
28. Для чего используется частота и продолжительность расходов реки?
29. Поясните, чем различаются понятия «половодье» и «паводок».
30. Какие паводки бывают на реках Калининградской области?
31. Назовите особенности весеннего половодья на реках Калининградской области.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

Нормативные документы

1. Водный кодекс Российской Федерации. Федеральный закон № 74-ФЗ от 03.06.2006 г. (с изменениями).

2. ГОСТ 7.32-2017. Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления. Издание официальное. – Москва: Стандартинформ, 2017. – 32 с.

3. Свод правил СП 131.13330.2020. Строительная климатология. Издание официальное. – Москва: Стандартинформ, 2020. – 150 с.

4. Свод правил СП 529.1325800.2023. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. Издание официальное. – Москва: Стандартинформ, 2023. – 103 с.

Учебники и учебные пособия

5. Михайлов, В. Н., Добровольский, А. Д., Добролюбов, С. А. Гидрология: учеб. для вузов / В. Н. Михайлов, А. Д. Добровольский, С. А. Добролюбов. – Москва: Высшая школа, 2007. – 463 с.

6. Сикан, А. В. Вероятностные распределения в гидрологии. Специальные главы теории и практики гидрологических расчетов: учеб. / А. В. Сикан. – Санкт-Петербург: РГГМУ, 2020. – 286 с.

7. Наумов, В. А. Методы обработки гидрологической информации: лаб. практикум для студентов вузов / В. А. Наумов. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2014. – 115 с.

8. Практикум по гидрологии, гидрометрии и регулированию стока / Е. Е. Овчаров, Н. Н. Захаровская, И. В. Прошляков [и др.]. – Москва: Агропромиздат, 1988. – 224 с.

Справочные издания

9. Барина, Г. М. Калининградская область: Климат. Калининград / Г. М. Барина. – Калининград: Изд-во «Янтарный сказ», 2002. – 196 с.

10. Домнин, Л. Л., Чубаренко, Б. В. Атлас трансграничных речных бассейнов Калининградской области / Л. Л. Домнин, Б. В. Чубаренко. – Калининград: Изд-во «Терра Балтика», 2007. – 36 с.

11. Гидрологический ежегодник 1962 г. Т. 1. Бассейн Балтийского моря Вып. 5, 6. Бассейны рек Немана, Преголи и Вислы / под ред. Л. М. Жвирздинене. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1964. – 224 с.

12. Гидрологический ежегодник 1963 г. Т. 1. Бассейн Балтийского моря Вып. 5, 6. Бассейны рек Немана, Преголи и Вислы / под ред. Д. И. Абрайтене. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1965. – 237 с.

Интернет-ресурсы

13. Калининградский ЦГМС. – [Электронный ресурс]. URL: <http://meteo39.ru/gidro/klimat.html> (дата обращения: 01.01.2024).

14. Климатический монитор: погода в Калининграде. – [Электронный ресурс]. URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/monitor.php?id=26702> (дата обращения: 01.08.2023).

15. Погода и климат. Архив погоды. – [Электронный ресурс]. URL: <http://www.pogoda.ru.net/archive.php> (дата обращения: 01.09.2023).

16. Термограф: архивные данные температуры воздуха и количества осадков. – [Электронный ресурс]. URL: <http://thermograph.ru/mon/> (дата обращения: 15.08.2023).

17. Расписание погоды. – [Электронный ресурс]. URL: http://rp5.ru/Архив_погоды_в_Калининграде (дата обращения: 20.08.2023).

18. Некоммерческий фонд «Исток». Схемы бассейнов рек региона. – [Электронный ресурс]. URL: <https://istok39.ru/shemy> (дата обращения: 20.12.2023).

19. Схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейна реки Неман и рек бассейна Балтийского моря (Российская часть в Калининградской области). Утверждена приказом Невско-Ладожского БВУ Федерального агентства водных ресурсов № 171 от 09.12.2014 г. – [Электронный ресурс]. URL: <http://www.nord-west-water.ru/activities/ndv/page-2/> (дата обращения: 20.12.2023).

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица А.1 – Система и критерии оценивания

Система оценок Критерий	«Не зачтено»	«Зачтено»		
	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«отлично»
Системность и полнота знаний в отношении изучаемых объектов	Обладает частичными и разрозненными знаниями, которые не может корректно связывать между собой (только некоторые из них может связывать между собой)	Обладает минимальным набором знаний, необходимым для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает набором знаний, достаточным для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает полнотой знаний и системным взглядом на изучаемый объект
Работа с информацией	Не в состоянии находить необходимую информацию, либо в состоянии находить отдельные фрагменты информации в рамках поставленной задачи	Может найти необходимую информацию в рамках поставленной задачи	Может найти, интерпретировать и систематизировать необходимую информацию в рамках поставленной задачи	Может найти, систематизировать необходимую информацию, а также выявить новые, дополнительные источники информации в рамках поставленной задачи
Осмысление изучаемого явления, процесса, объекта	Не может делать корректных выводов из имеющихся у него сведений, в состоянии проанализировать только некоторые из имеющихся у него сведений	В состоянии осуществлять корректный анализ предоставленной информации	В состоянии осуществлять систематический корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные данные	В состоянии осуществлять систематический и корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные поставленной задаче данные, предлагает новые ракурсы поставленной задачи
Освоение стандартных алгоритмов решения профессиональных задач	В состоянии решать только фрагменты поставленной задачи в соответствии с заданным алгоритмом, не освоил предложенный алгоритм, допускает ошибки	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом, понимает основы предложенного алгоритма	Не только владеет алгоритмом и понимает его основы, но и предлагает новые решения в рамках поставленной задачи

Густота речной сети

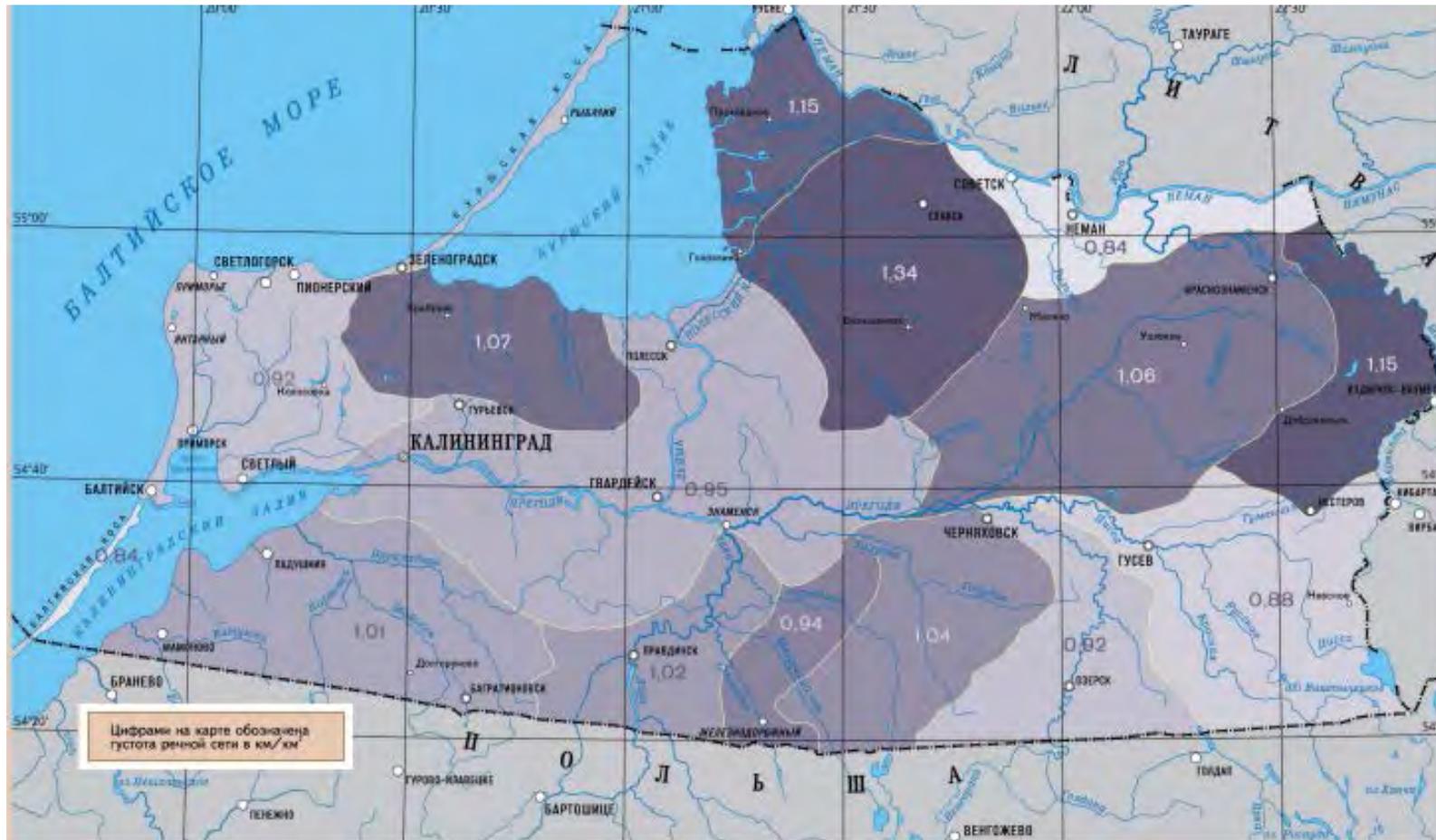


Рисунок Б.1 – Густота речной сети Калининградской области

ПРИЛОЖЕНИЕ В

ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»
Кафедра техносферной безопасности и природообустройства

ЗАДАНИЕ

на выполнение курсовой работы по учебной дисциплине «Гидрология»

Тема курсовой работы:

Анализ стока реки _____ в створе _____

Разделы и подразделы курсовой работы:

1 Природно-климатические условия водосборного бассейна реки.

1.1 Карта водосборного бассейна реки. Гидрографическая схема.

1.2 Гидрографические характеристики (морфометрические и морфологические).

1.3 Климат (температура, атмосферные осадки) бассейна реки.

2 Ряд средних годовых расходов воды реки _____ в створе _____.

2.1 График ряда средних годовых расходов (СГР). Интегрально-разностная кривая.

2.2 Проверка линейного тренда, достаточности длины и однородности ряда.

2.3 Эмпирическая и теоретическая (Пирсона 3-го типа) обеспеченность СГР.

2.4 Расчет значений СГР заданной обеспеченности. Характеристики стока.

3 Внутригодовое распределение стока реки _____.

3.1 Оцифровка гидрографов в годы разной водности. Характеристики за год.

3.2 Минимальные расходы воды (1-, 5-, 10- и 30-суточные).

3.3 Весеннее половодье (начало и конец, слой стока). Паводки.

3.4 Частота и продолжительность стояния расходов воды.

3.5 Коэффициент естественной зарегулированности стока реки.

Исходные данные:

Многолетний ряд средних годовых расходов воды реки. Выдает преподаватель по варианту в виде файла формата txt.

Ежедневные расходы воды реки за два года: маловодный (или очень маловодный), многоводный (очень многоводный). Необходимо выбрать из гидрологических ежегодников для соответствующей реки.

Графический материал:

Карта бассейна с нанесенными условными обозначениями (А3).

Задание выдал _____

Принял к исполнению _____

_____ 202_ г.

_____ 202_ г.

Учебное издание

Владимир Аркадьевич Наумов

ГИДРОЛОГИЯ

Редактор Э. С. Круглова

Подписано в печать 06.11.2024 г. Формат 60 × 90 1/16.
Уч.-изд. л. 2,7. Печ. л. 2,4. Тираж 19 экз. Заказ № 83

Издательство федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Калининградский государственный технический университет».
236022, Калининград, Советский проспект, 1